良質・良食味米安定生産・出荷のための栽培技術

ー産米の蛋白含有率低下、売れる米づくりを目指してー

Ⅵ 良食味米を目指した土壌管理、施肥技術

執筆：地方独立行政法人　北海道立総合研究機構　農業研究本部　企画調整部　地域技術グループ

主査（地域支援）　渡　辺　祐　志

良食味米を目指した土壌管理、施肥技術

1　圃場、土壌管理技術

(1)　融雪促進と圃場の乾燥化

春に速やかに融雪し、圃場の乾燥を促進させることは、以下の理由などから重要である。まずは、春期の耕起砕土作業等がより順調に進む点である。圃場が早くから乾燥していれば、予定通り耕起作業が実施できるし、それにより土壌の乾燥化が進めば土壌窒素の無機化が促進され（乾土効果）、水稲の初期生育向上につながる。また、乾燥期間が十分確保されることにより、土層に酸素が主に酸化鉄の形でため込まれる。この酸素は湛水期間における作土の土壌還元（ワキ）を抑える働きをしてくれる。それにより、水稲の根が健全に生育、維持され、生育、収量、品質を高める。土壌の鉄が不足する圃場では、その効果が十分に発揮されないが、鉄資材の施用や鉄含量に富む土壌を客土することで改善できる(「鉄・ケイ酸レベルの向上による水田地力の増進技術（平成14年普及奨励)」。

1）融雪促進（融雪材の散布）

融雪剤の散布は融雪促進に有効であり、気象条件にもよるが、１週間から10日程度融雪を速めることができる（図１）。資材は、ケイ酸資材など土壌改良を兼ねるものが望ましい。散布時期は気温が高まる３月中旬頃が適し、目安としては、最高気温が０℃以上、最低気温がー３℃以上である。なお、散布後の降雪が10cm以内であれば効果に影響しない。

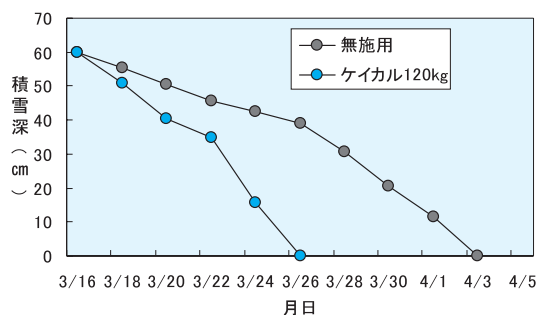



図１　融雪剤の効果

2）融雪停滞水の排除対策

圃場の融雪水を迅速に排除するためには、それを早急に明・暗渠に導く必要がある。そのための有効な対策として以下のことを行う。

①　心土破砕の施工（図２）

水稲収穫後に心土破砕を行う。施工間隔は90cm程度とし、既設暗渠管を傷めない深さ（40cm程度）で実施する。効率的に排水するには、暗渠と交わるように施工するとともに、圃場が乾いている時期に、できる

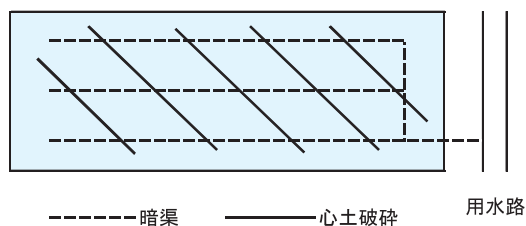



図２　心土破砕の施工例

だけゆっくりと施工する。前年の収穫後に心土破砕を施工できなかった場合は、融雪剤散布前の雪上心土破砕を検討する。その際の施工時期は３月、施工深が30～40㎝程度となる頃が適当である。

② **圃場内作溝明渠（図３）**

圃場内作溝明渠「溝切り」を圃場の周囲や圃場内に作溝し、表面停滞水を集めて排水する。この場合、溝を明渠（本明渠）や落水口につなぐなど、集めた水を圃場外に排出する工夫を怠ると、十分な効果が得られない。施工時期は水稲収穫後が望ましく、融雪水のみならず、秋期の降雨による停滞水の排水にも効果を発揮する。

↓用水路へ

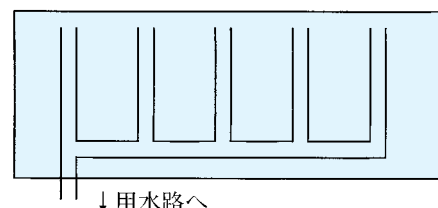
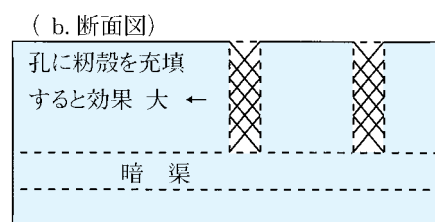
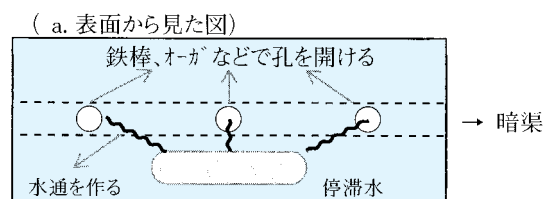



図３　溝切りの施工例

③ **既設暗渠への水みちの確保（図４）**

暗渠の直上に鉄棒、竹などで孔を開けて暗渠への水みちを作る（穿孔暗渠）。オーガーで孔を開けもみがらを充填すると持続性が高い。

図４　穿孔暗渠の例

３）稲わらの搬出

稲わらの処理、水稲生育に対する影響については後述するが、圃場に残された稲わらは、水稲生育、収量、品質のみならず圃場の乾燥化にも影響を及ぼす。ほ場表面に残された稲わらは、水分を保持し、土壌の乾燥を妨げる。

⑵ 透排水性の向上

１）透排水性の意義

水田は水を張ることを前提に作られる。しかし、矛盾するようではあるが、代かき後も適度な縦浸透があるほうが稲の生育にとっては都合がよい。

湛水期間中に土壌に浸透する水は酸素を含んでいる。水稲の根自体は維管束から酸素を得ることができるので土壌からの酸素を必要としないが、土が酸欠（還元）状態になると硫化水素などの有毒物質が生成される（ワキ）。それにより根の活性が低下し、生育、収量、品質に悪影響を及ぼす。土に酸素を供給し、ワキを軽減するには、適度な透水性が必要である。

また、田面で温められた水が土壌中に浸透することで地温が上昇する。春の温度が低い本道の稲作にとって、地温の上昇は初期生育の向上をもたらす。

落水期間中に透排水性の良い水田では、先に述べた作業性の向上、乾土効果による地力

窒素供給の前倒し、酸化鉄による酸素の蓄積・供給などの他にも、ねらった時期に落水が可能となるため、適期に中干しが可能となる。また、収穫前の落水を遅らせることができるため、登熟中後期に土壌水分が確保できれば、登熟が良好となりでん粉が米粒にしっかり蓄積される。

これらのことが総合して、産米の収量向上やタンパク質含有率（以下タンパクと表記）の低下がもたらされる（図５）。

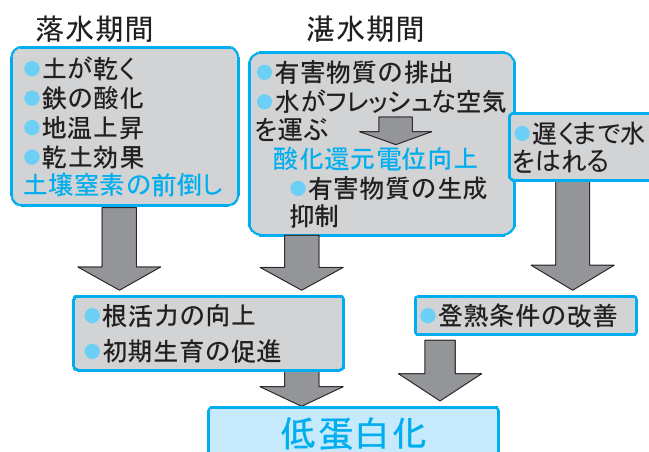
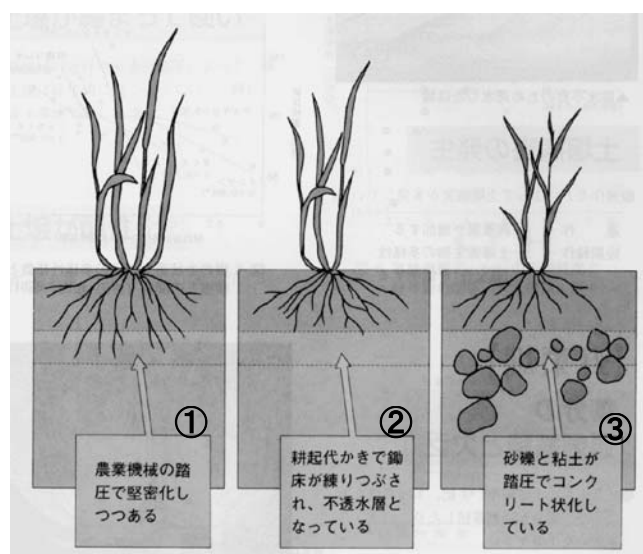



図５　透排水性改善による産米の品質向上

図６　透排水性悪化の原因

２）透排水性悪化の要因

水田は水を張ることを目的に作られ、水を溜めるために代かき等の作業を行うので、透水性が悪化しやすい。図６に透水性悪化の要因を記した。

①の要因は作業機による作土下部の堅密化である。土壌水分が高いときに作業を行うと、いっそう堅密化が進む。②は耕起、代かきによる堅密化である。代かき強度が高まると、透水性はより低下する。③透水性が良いと考えられる砂礫混じりの水田でも、作業機の踏圧で砂礫と粘土が押しつぶされながら固まって、堅い不透水層が形成されることがある。

３）透排水性の改善の基本

水田の透排水性を高める手段は、土に亀裂を入れることと、できた亀裂を大切にすることにつきる。

亀裂を入れるためには、心土破砕が有効である。先にも述べたが、心土破砕を効かせるコツは、圃場が乾いた時に、できるだけゆっくりと（早歩き程度の速度で）施工することである。過湿な土壌条件で高速で施工すると、せっかく作った切り溝が癒着してしまう（羊羹を切るようなものだといわれる）。乾いた時期にゆっくりと施工することができれば、切り溝が十分にできるばかりでなく、施工の際の振動で切り溝の周辺に細かい亀裂ができ、それがまた透水性を高める。また、心土破砕によって土壌が乾けば土が収縮して亀裂が入り、これも透水性を高める方向に働く。

落水後に表面滞水が見られる圃場では、圃場表面に溝切り（圃場内作溝明渠）を行う。その際、溝を落水口や本明渠につなぐなど、集めた水を圃場外に排出することを忘れない。表面滞水が排水されれば、圃場の乾きが早くなる。土が乾けば収縮して亀裂ができ、透水性がさらに高まる。

亀裂が消えてしまう最大の要因は、過度の代かきである。圃場条件によって、十分な移植精度を得ることができる代かきの程度に違いがあるので、一概にどの程度とはいえないが、過度な代かきを避ける工夫が必要である。

春期の耕起、砕土作業も、加湿な条件で作業を行うと、練り返しや踏圧によって亀裂をつぶし、排水性を低下させる。排水の悪い水田での秋起しは避けるべきである。強度の練り返しが発生するとともに、起こしたときの土塊の間に融雪水がたまり春の乾きを悪くする。排水の良い水田でも、秋起しの際には、土塊を細かくしないようにする。また、収穫時に多水分条件でコンバインを動かすことも、土の練り返しよって亀裂をつぶす。高品質米の生産にとって適期収穫は大前提ではあるが、そのなかでもなるべく乾いた条件で収穫をできるようにしたい。

北海道の気象条件では、落水期に毎年土が乾くとは限らないが、これら透排水性改善技術を継続して実施すれば、少しずつ亀裂が発達し、圃場を乾きやすい方向に持っていくことができる。

4）透排水性改善の事例

①　代かきの工夫

代かきをし過ぎることは透水性低下の大きな要因ではあるが、代かきが不足すると充分な移植精度が得られない。表１には、慣行の代かき作業に変えて、試作した代かき用の牽引板をトラクタで引いた事例を示した。均平度は劣ったが移植精度には問題が無く、タンパクは処理開始初年目から0.5%程度低下し、収量も２年目には慣行処理を上回った。代かきを軽く行う効果が亀裂の安定化をもたらし、土壌の透水性を徐々に高めたものと思われる。

無代かきは、透水性が高まる反面、土壌窒素の無機化が遅れ、また、苗を移植する際の精度が低下する場合がある。しかし、新たな機械投資を必要としないため、まずは小面積で試みて、様子をみながら改良を重ねていくことができる。良い成績が得られれば、低タンパク化ばかりでなく省力化にもつながる。田畑輪換など、特に土壌の透排水性を悪化させたくない場面などにおいて、無代かきは拡がりを見せている。

表１　代かきの工夫による透水性の改善事例

処理	心土破砕	耕起	砕土	代かき
慣行	サブソイラ 40cm	ディスクプラウ 15cm	ロータリハロー アッパーロータリ	ロータリ
改善	チゼルプラウ 20cm			牽引板

年度	精玄米収量 kg／10ａ		タンパク質含有率 %	
	慣行	改善	慣行	改善
H12	577	556	8.3	7.7
H13	473	513	8.4	7.9

空知支庁実施

②　砂充填細溝心土破砕

本方法は心土が堅密な粘質土壌や泥炭土に対して、圃場排水機能の向上と落水時の速やかな土壌乾燥を目的として開発された(「砂充填細溝心土破砕（砂心破）による水田の透排水機能の向上技術（平成14年普及推進）」)。具体的には心土破砕機によってつけられた溝に焼砂やビリ砂利を充填する方法であり、そのための専用の作業機を開発した。砂心破の施工により、深さ15cmから40cm程度に幅２cm程度の砂を充填した亀裂が形成される。

砂心破により、減水深（縦浸透）が増加し、これに伴って土壌還元（ワキ）が軽減される（図７、ワキは、酸化還元電位（Ｅｈ）の値が小さいほど（マイナスの値が大きいほど）激しくなる)。また、砂心破によって春の土壌水分が低下し（土が乾燥し)、収量が高まり、タンパクも低下した（表２)。

砂心破は暗渠排水の整備された圃場で有効であり、10年以上にわたり効果が持続する。ただし、施工費が高いので、現実的には補助事業の中で施工することになる。

砂心破と類似した透排水性改善方法にモミガラ心破がある。こちらも専用の機械を必要とするが、比較的安価で生産者自らの施工が可能である。通常の心土破砕は状況によっては毎年の施工が望まれるが、モミガラ暗渠の効果は長期間に及ぶ。

図７　砂心破が縦浸透と酸化還元電位に及ぼす影響

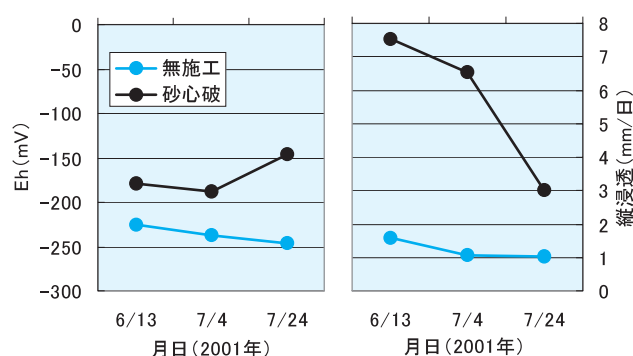



表２　砂心破が水稲の生育収量に及ぼす影響

処理	春の土壌水分%	乾物重(６/13) g/㎡		玄米収量 kg/10ａ	白　米 タンパク %
		地上部	根部		
無施工	39.3	14.1	7.0	525	6.3
砂心破	35.1	17.5	7.7	541	5.6

砂心破の間隔は2.4ｍ

③　砂質客土埋設工法

本工法は、泥炭土水田で良食味米（低タンパク米）を安定的に生産できる基盤整備方法として開発された(「砂質客土埋設工法による泥炭土水田の米粒タンパク質低減技術（平成20年指導参考)」)。砂質客土材を作土層の下に埋設することで水稲根域を制限し、下層泥炭からの窒素吸収を抑制することによって米粒タンパクを低下させる（表３)。客土材の埋設深については、15cm深で生育収量の低下がみられたことから、過度の根域制限は不要と判断し、25cmを標準とした。

表３　客土埋設が水稲収量・品質に及ぼす影響

処理区	総重 (kg/10ａ)	精玄米重 (kg/10ａ)	千粒重 (ｇ)	不稔歩合 (%)	窒素吸収量 (kg/10ａ)	タンパク質 含有率(%)
対照	1287	546	24.3	11.7	11.6	7.9
客土埋設深25cm	1212	544	24.2	9.7	10.2	7.0
客土埋設深15cm	1185	529	24.1	12.8	9.2	7.1

砂質客土埋設工法の施工条件は表４のとおりで、適用圃場は米粒タンパクが高まる傾向にある泥炭土水田とし、施工方法は表土を削剥して砂質客土材を敷き均し、表土を戻す。客土の厚さは根の伸長の確実な制限およびコスト面から考慮して５～10㎝とする。

表４　砂質客土埋設工法の施工条件

項目	施工条件
適用ほ場	米粒タンパク質含有率が高まる傾向にある泥炭土水田
施工方法	表土を削剥して基盤整地を行い砂質客土材を敷き均して表土を戻す
客土材埋設深	25㎝を標準
客土厚さ	５～10㎝（埋設後５㎝以上を確保する）
客土材	国際法土性でＳＬ、ＬＳ、Ｓ 粒径30㎜以上の礫含有率が５％未満 粗粒火山性土を使用し、川砂は使用しない 交換性ニッケル含量1.5㎎／㎏未満 全イオウ含有率0.05％未満

なお、根域が制限され干ばつの影響を受けやすいため、早期落水を避け登熟期間の土壌水分を適正に維持し、窒素供給力が低い圃場では肥料切れをおこさないよう施肥設計に留意する必要がある。施工圃場における心土破砕の施工は極力避け、排水対策は暗渠排水と溝切り等で対応する。なお、畑利用時などにおいて埋設した客土層を撹拌した場合、水稲に対するタンパク低減効果は消失すると考えられる。

④　**鉄付着防止暗渠土管**

北海道の暗渠排水では、13.5％の暗渠管に酸化鉄などが溜まっており、とくに泥炭土やグライ土で暗渠管に酸化鉄が溜まりやすい実態が確認されている。土管素材への５％程度のカルシウム材添加により、鉄酸化細菌の発生が抑制され、鉄付着による閉塞が軽減される（「鉄付着防止暗渠土管の閉塞軽減効果（平成19年普及推進）」）。写真１のように、施工２年後の従来土管には鉄付着が認められ、これは*Gallionella* 属の鉄酸化細菌の鉄代謝物であった。一方、鉄付着防止土管への鉄付着物は極めて少なかった。鉄付着防止暗渠土管を用いた暗渠は、従来土管と合成樹脂管の排水に比べｐＨが0.5～１程度高く、全鉄濃度は低く推移しており（図８）、管内への鉄流入抑制効果があると考えられる。

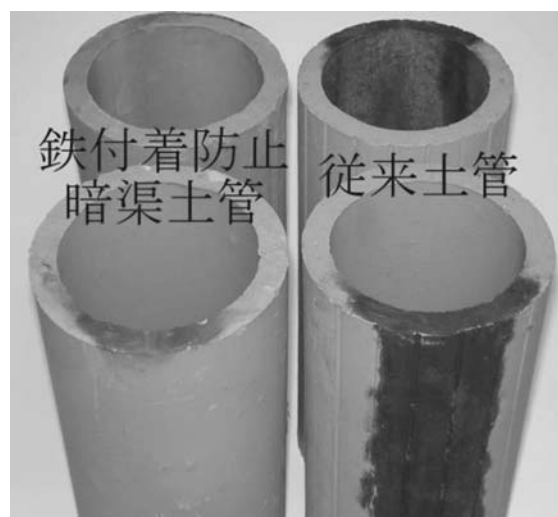



写真１　施工後２年経過時の鉄付着状況

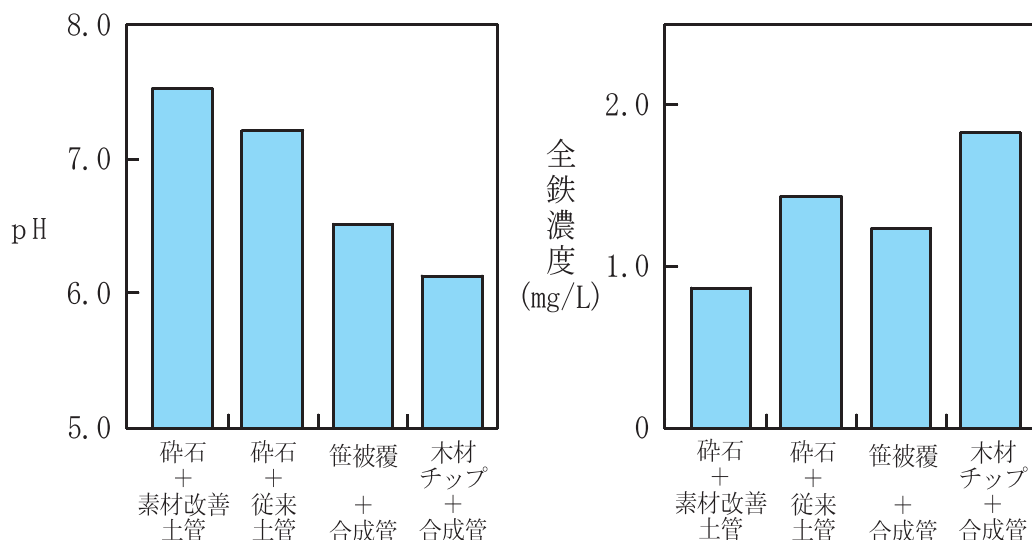



図８　暗渠管と疎水材の組合せによる排水水質の比較

(3) 稲わらの搬出、堆肥化

稲わらを鋤込むと、有機物の分解過程で酸素を消費するので、土壌の酸欠状態（土壌還元）を促進する。その結果、硫化水素などの有害物質の生成が促進されるとともに、わら自体からも安息香酸などの有害物質が発生することが知られている。それによって根の活性が低下（根傷み）した場合には、養水分吸収が円滑に進まなくなり、生育、収量、品質が低下する。

また、稲わらには窒素が含まれる。鋤込まれた稲わらの窒素は地温が上昇する７月中旬以降になってから稲に吸われる割合が多いので、タンパクを高める要因となる。特に、不稔歩合の高い年の稲わらには平年以上の窒素分が含まれるため、よりタンパクを高める危険性がある。加えて、窒素が多い分Ｃ／Ｎ比が低く、一般にＣ／Ｎ比の低い有機物は分解速度が速いために、鋤込み初期の還元障害（ワキ）も例年以上に激しくなる可能性がある。不稔歩合の高かった圃場では、高品質米生産のために特に稲わら搬出が求められる。

搬出した稲わらは、堆肥化し圃場に還元することを基本とする。乾田型土壌（排水条件の良い圃場）では生わら鋤込みも可能であるが、その場合は秋鋤き込みとし、収穫後できるだけ早い時期に土壌表面に混和し分解を促す。ほ場表面に残された稲わらは分解が遅れ、水稲の生育期間における悪影響を助長するのみならず、水分を保持し、また土壌表面を覆うことによって土壌の乾燥を妨げる。作業の都合からどうしても稲わらの搬出ができない場合も、そのまま放置することなく、できるだけ早い時期に土壌表面に混和することで、悪影響を緩和できる。なお、堆肥および稲わらを施用した場合には、施用量に応じた減肥が必要となる（表８参照）。

収集した稲わらを圃場の近傍に野積みすることは、病害の感染源となる場合があるので、そのまま放置することは避ける。稲わら焼却（野焼き）を避けるべきことは言うまでもない。

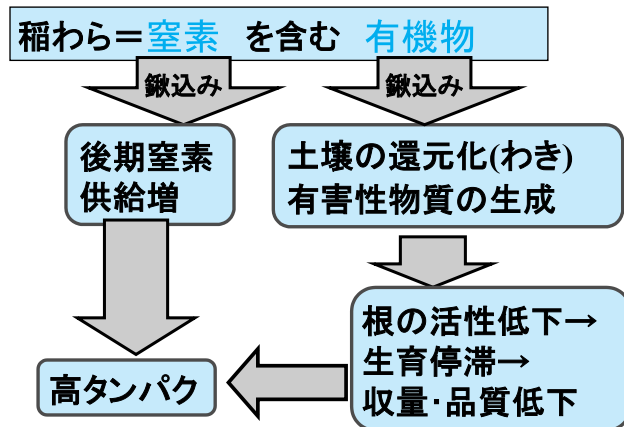



図９　稲わら鋤き込みは、なぜ悪い

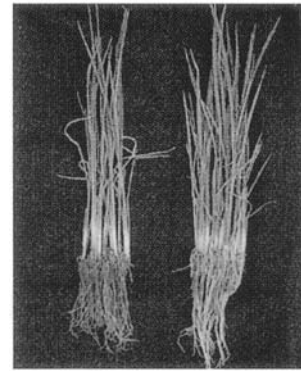



写真２　稲わら鋤き込みによる生育不良

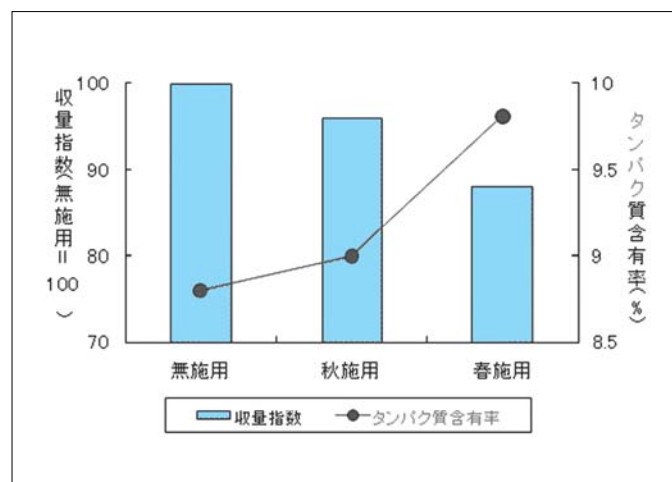



図10　稲わら鋤き込みと収量、タンパク質含有率

○　稲わら堆肥化の手順（例）

①　ロールベーラまたはバックレーキ等で稲わらを収集。

↓

②　500kg（ほぼ10ａ分）の稲わらに、窒素源（家畜ふん尿の場合は窒素で２～３kg、石灰窒素、硫安の場合は10～15kg（現物））を加え、十分灌水して堆積。

↓

③　１～２カ月毎（目標）に切り返し、乾いていたら水分補給。

⑷　稲わらの搬出・取り組み事例

ここで紹介する農業生産法人は、道央部の南東部に位置し、全耕地面積175haのうち水稲107ha、ハウス37棟、残りに転作作物を作付けする。食味向上のために稲わら搬出に取り組み、そのためのロールベーラを所有している。稲わらの放置は、土壌の乾燥を妨げるため、早期に片づけることが推奨されているが、秋の天候が悪い当地区ではなかなか進んでいない

のが現状である。当法人は、効率的に作業を進めるため、収穫とわら収集をほぼ同時に行い大量の稲わらを搬出している。

ロールベーラで収穫した稲わらは、地域内の数カ所の堆肥盤に積み上げる。堆肥盤は補助事業を活用し十分なスペースを確保しているとともに、移動コストの増大をもたらす集中化を避けている。また、コンクリート打ちであるなど、環境にも配慮している。発酵を促進させるための窒素源として豚糞スラリーを使う。付近の養豚農家が腐熟程度を見ながら豚糞スラリーをかけるため、コストは低く抑えられる。春までに発酵が進んでかさが減ると共に、フロントローダで切り返しが出来る程度にベール（稲わらロール）がくずれる。秋までに切り返しを数度繰り返して、十分腐熟した後、地力の低い水田、野菜ハウスを中心に施用している。

写真３　わらの収集

写真４　堆肥盤

2　適正な窒素施肥（施肥量と施肥法）

(1)　低タンパク化に向けた考え方

１）窒素吸収量の適正化

水稲によって吸収された窒素の70％程度は米粒中でタンパクとして集積する。そのため、水稲の生育にとって過剰な窒素はタンパクを高め、食味を下げる。適正な窒素吸収量は、９（低収地帯）～11（高収地帯）kg／10ａ程度である。水稲の吸収する窒素は大きく土壌由来と肥料由来に分けられる。泥炭土や稲わらを連用した水田など土壌の窒素供給量が多い場合には、それに対応して窒素施肥量を少なくし、逆に土壌窒素供給量が少ない場合には、その分、施肥量を多くする必要がある（図11）。

窒素施肥を単に少なくすれば低タンパクが実現できるわけではない。窒素施肥量が少なすぎると、初期生育が悪くなり十分な子実収量が得られず、かえってタンパクを高める。これを避けるには側条施肥を導入する、あるいは側条施肥割合を高めることで対応する。全層施肥に比べて側条施肥は、稲株の近くに高濃度で窒素施肥することができるため、初期生育を促進するとともに施肥量を低減することが可能となり、収量を落とさずに低タンパクをねらうことができる。

いずれにしても窒素施肥量を決めるにあたっては、多すぎず少なすぎない量を見極めることが大切となる。そのためには、土壌の窒素供給量を正確に知る必要がある。その手段の１つが土壌窒素診断である。診断の結果と、これまでの生育、タンパク、収量の実績から、タンパクを低減する方向に施肥改善することが重要である。

図11　土壌の窒素肥沃度に対応した水稲窒素吸収量の差異

（低蛋白米生産をめざした水田土壌窒素診断の手引き　平成10年）

＊土壌由来窒素：窒素肥料を施用しない場合の窒素吸収量

２）乾物生産量の増大

窒素の吸収量が等しい条件であれば、収量の多い方がタンパクは低下する。水管理、健苗の利用など窒素施肥量を増やさない技術で多収を得ることは、タンパクを下げることにつながる。肥料の分野ではケイ酸施用がこれにあたる。ただし、低タンパク化技術としてのケイ酸施用は適切な窒素施用量を前提としていると考えるべきで、窒素供給量がもともと多い場合には、ケイ酸施用が生育改善のみならず、窒素吸収促進につながり、かえってタンパクを高めてしまうこともある。

(2)　窒素施肥量の適正化

圃場ごとの窒素施肥量は、１）施肥標準量、２）土壌窒素診断に基づく施肥対応、３）有機物施用に伴う施肥対応、４）乾土効果の評価、による設定が望まれる。以下には、「北海道施肥ガイド2010」で示される適正窒素施肥量の設定方法について述べる。なお、窒素減肥は基本的に全層施肥部分から行い、減肥後の窒素施肥量は初期生育を確保するため、４kg／10ａを下限とする。詳細については「北海道施肥ガイド2010」を参考にされたい。

１）施肥標準量

施肥標準は、地帯区分および土壌区分別の基準収量と、各基準収量に対応する土壌区分別の施肥標準量を示したもので、施肥標準量の算定にあたっては、まず表５において対象とする地帯区分・土壌区分の基準収量を確認の上、表６において基準収量に対応する施肥標準量を求める。基準収量が対象とする圃場の収量と乖離している場合は、窒素施肥量を±0.5kg／10ａの範囲で増減する（収量で±30kg／10ａ相当）。なお、窒素の施肥標準は、中庸な地力水準において全量全層施肥により白米タンパク7.0％以下の安定生産を目標とした施肥量である。

表５　地帯別・土壌別基準収量（北海道施肥ガイド2010）

地帯区分	地　帯　名	基準収量（kg／10ａ）				
		低地土（乾）	低地土（湿）	泥炭土	火山性土	台地土
1	檜山・渡島南部、伊達市周辺	480	480	480	450	450
2	内浦湾・胆振沿海、石狩の一部	480	480	480	450	450
	（黒松内町）	420	420	420	390	390
3Ａ	羊蹄山麓	510	510	510	480	480
3Ｂ	豊浦、南羊蹄	450	450	450	420	420
4	日高	480	480	480	450	480
5	檜山北部、後志日本海沿海	510	510	510	480	480
6	石狩沿海、留萌南部	510	510	510	480	480
7Ａ	石狩北部、空知中南部	540	540	540	510	510
7Ｂ	石狩・空知南部	510	510	510	480	480
8Ａ	空知中西部・北部	570	570	570	540	540
8Ｂ	空知東部山麓・夕張	540	540	540	510	510
	（夕張市）	480	480	480	450	450
9Ａ	上川中央部	570	570	570	540	540
9Ｂ	上川中北部および富良野	540	540	540	510	510
9Ｃ	富良野南部および日高山麓	480	480	480	450	450
10Ａ	空知最北部および上川北部	510	510	510	480	480
10Ｂ	上川北部	480	480	480	450	450
11	留萌北部・上川北部の一部	510	510	510	480	480
13	北見内陸	420	420	420	420	420
14	北見東部沿海	420	420	420	420	420
16	十勝中央部	420	420	420	420	420

注１　基準収量は、過去10年（平成11～20年（冷害年（平成15年）を除く）の統計収量に基づいて設定した。

表６　基準収量に応じた施肥標準量（北海道施肥ガイド2010）

基準収量（kg/10ａ）	全量全層施肥における窒素施肥量（kg／10ａ）					P_2O_5（kg/10ａ）	K_2O（kg/10ａ）
	低地土(乾)	低地土(湿)	泥炭土	火山性土	台地土		
390				7.0	6.0	8.0	8.0
420	7.0	6.5	5.0	7.5	6.5		
450	7.5	7.0	5.5	8.0	7.0		
480	8.0	7.5	6.0	8.5	7.5		
510	8.5	8.0	6.5	9.0	8.0		
540	9.0	8.5	7.0	9.5	8.5		
570	9.5	9.0	7.5				

注１　各地帯区分・土壌区分の基準収量に応じ、施肥量を算定する。
注２　実際の各圃場の収量水準に応じ、窒素施肥量を±0.5kg／10ａの範囲で増減する。
注３　全層・側条組合せ施肥を実施する場合の窒素施肥は、側条施肥を3.0～4.0kg／10ａ程度とし、総窒素施肥量を表の値から0.5kg／10ａ減肥する。

２）土壌窒素診断に基づく施肥対応

土壌窒素診断に基づく基肥窒素施肥対応では、窒素肥沃度を湛水培養窒素（40℃１週間培養法）で評価し、窒素肥沃度水準に応じて施肥標準量から＋0.5～－1.0kg／10ａの範囲で増減する（表７）。算出される窒素施肥量は、全量全層施肥により白米タンパク7.0％以下の安定生産を行うための値であり、白米タンパク6.5％以下を目標とする場合は、基本技術（側条施肥、健苗育成、適期移植、栽植密度向上、水地温上昇対策、登熟中後期の土壌水分確保など）が実行されることを前提に、全層施肥部分からさらに0.5kg／10ａの窒素減肥を行う。

湛水培養窒素は土に含まれる有機態の窒素のうち、短期間で無機化するものを評価しており、わらなどの有機物を長期間鋤込むと増加し、逆に有機物を長期間施用しないと低下するが、短期的な変化は小さい。診断のための土壌の採取時期は分析にかかる時間を考慮すると、収穫後から積雪前までが望ましく、融雪後土壌が乾燥し始めると乾土効果として発現する窒素の一部が分析値に反映されるので、土壌採取時期として適切ではない。

施肥量の適正化のためには土壌窒素診断に基づくことが望ましいが、土壌診断を実施できない場合には、「生産情報に基づく水稲の成熟期窒素吸収量推定と施肥設計への応用（平成18年指導参考）」を参考に窒素施肥量を設定する。

表７　土壌窒素肥沃度水準による窒素施肥対応（一部）（北海道施肥ガイド2010から抜粋）

地帯区分	地帯名	土壌区分	施肥標準に対する施肥窒素増減量（kg／10ａ）			
			＋0.5	0	－0.5	－1.0
			窒素肥沃度水準の区分（mg／100ｇ）			
			低	中位	やや高	高
７Ｂ	石狩および空知南部	低地土（乾）	～8.0	～12.0	～14.0	14.0～
		低地土（湿）	～7.0	～14.0	～16.0	16.0～
		泥炭土	～6.0	～13.5	～16.0	16.0～
		火山性土	～9.5	～13.0	～15.0	15.0～
		台地土	～3.0	～9.0	～11.5	11.5～

注１　窒素肥沃度：可給態窒素量（40℃１週間湛水培養法）
注２　窒素減肥は、全層施肥部分から行う。
注３　白米タンパク6.5％以下を目標とする場合は、基本技術（側条施肥、健苗育成、適期移植、栽植密度向上、水地温上昇対策、登熟中後期の土壌水分確保など）が実行されることを前提に、全層施肥部分からさらに0.5kg／10ａの窒素減肥を行う。

３）有機物施用に伴う施肥対応

有機質肥料を用いた場合にはもちろんのこと、堆肥などの有機物を施用した場合にも、有機物の種類および連用年数に応じて減肥する（表８）。なお、堆肥や稲わらを長期間施用すると、土壌肥沃度にその効果が反映される。そのため、土壌診断に基づく施肥対応を実施する場合は、堆肥・稲わらを５年以上連用している場合でも単年度施用の減肥可能量を用いる。

表８　有機物施用に対応した窒素、カリの減肥量（北海道施肥ガイド2010から抜粋）

有機物の種類 （標準的な施用量）	連用年数	窒素減肥量 （kg／10ａ）	カリ減肥量 （kg／10ａ）
稲わらたい肥 （現物１ｔ／10ａ）	１～４ ５～９ 10～	1 1.5 2	2
家畜糞たい肥 （現物１ｔ／10ａ）	１～４ ５～	1.5 2	4
稲わら直接鋤込 （400～600kg乾物／10ａ）	１～４ ５～９ 10～	０～0.5 1 2	4

注１　窒素肥沃度による施肥対応を行う場合は、堆肥・稲わらを５年以上連用している場合でも単年度施用の減肥可能量を用いる（連用効果の重複評価を避けるため）。

４）乾土効果の評価

前年秋期および当年融雪後に、平年よりも土壌が乾燥した場合には乾土効果を評価し、窒素減肥する（表９）。

表９　乾土効果に対応した窒素の減肥量（kg／10ａ）（北海道施肥ガイド2010）

圃場の乾湿の程度	風乾土40℃－１週間培養窒素量（mg／100ｇ）		
	10未満	10～14	14以上
著しく乾燥（水熱係数０～２）	0.5	1.0	1.5
乾　　燥　（水熱係数２～３）	0.5	0.5	1.0
やや乾燥　（水熱係数３～４）	0.0	0.5	0.5
平年並～湿（水熱係数４～　）	0.0	0.0	0.0

注１　前年秋期（９／１～10／31）および当年融雪後（４／11～５／10）に、平年よりも土壌が乾燥している場合に適用する。

注２　水熱係数は以下の式から算出する。水熱係数＝10×ΣＰｒ／ΣＴ10、ΣＰｒ：前年秋期および当年融雪後の、積算降水量（mm）、ΣＴ10：前年秋期および当年融雪後の、日平均気温10℃以上の日の積算気温。

注３　窒素施肥は全層部分から行う。なお、減肥後の施肥窒素量は初期生育を確保するため、４kg／10ａを下限とする。

⑶　施肥法の適正化

１）土壌及び気象条件を考慮した施肥法（基肥）の選択

水田に対する施肥法は図12のように整理される。北海道は府県に比べ初期生育が重要視されることから、施肥法は基肥重点とする。土壌診断を前提に分追肥を行う施肥体系も示されているが適用場面は限定的である。

図12　水田に対する施肥法

基肥としては、「全層施肥」と「側条施肥」が代表的で、全層施肥は初期の吸収がやや劣るが、肥効が持続する（後優り的生育になる）傾向がある。一方、側条施肥は初期生育向上効果が高く、利用効率も高いが、生育中期以降肥切れとなる傾向がある。土壌の特徴、気象条件などを考慮し、全層施肥と側条施肥を組合せることが望ましい。

全層・側条組合せ施肥を実施する場合の窒素施肥は、地帯、土壌によらず側条施肥を3.0～4.0kg／10ａ程度とするとともに、総窒素施肥量を全層施肥のみの場合から0.5kg／10ａ減肥する（表６脚注参照）。

２）施肥改善（窒素減肥）時の対応

窒素減肥を行っても品質が改善されず、収量の低下のみに終わる場合があるので、側条施肥の導入（側条施肥割合の向上）とともに、健苗育成、適期移植、栽植密度向上、水地温上昇対策、稲わら処理の適正化、透排水性改善など、初期生育低下を回避する技術を導入する（図13）。

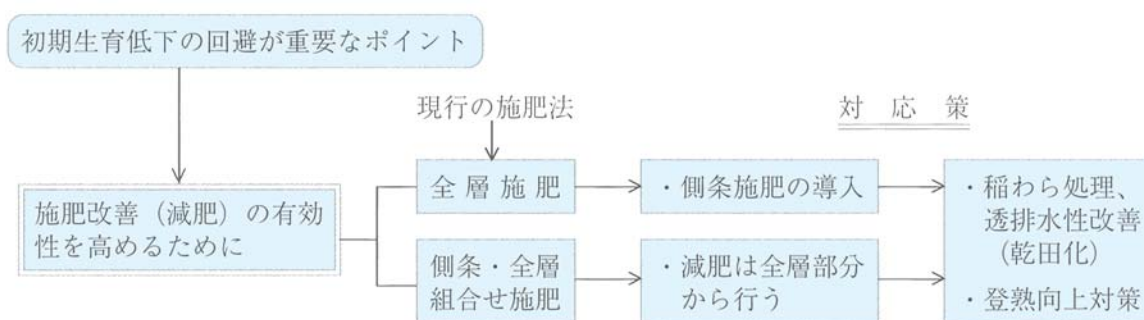



図13　窒素減肥に伴う初期生育低下の回避方策

⑷　窒素分追肥の適正化

生育中～後期の窒素施肥は米粒への窒素集積傾向が強く（図14）、特に止葉期以降の分追肥は影響が大きく、良食味米（低タンパク米）生産の見地からは止葉期における分追肥は行わない。

幼穂形成期～幼穂形成期後１週間の分追肥については生育状況を把握し、さらに作期中土壌窒素診断に基づく要否判断を行う（表10）。分追肥を必要とする圃場は毎年非常に少ないのが実態である。

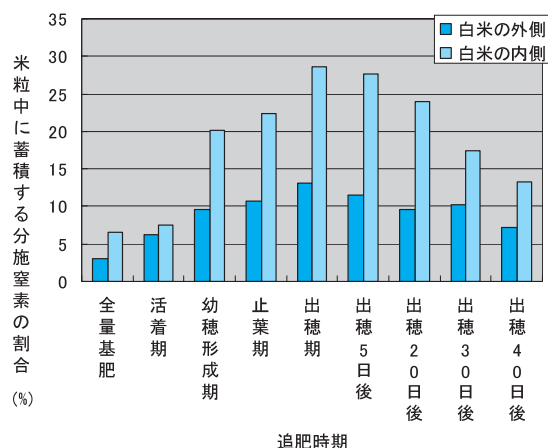



図14　窒素の追肥時期が米粒中の窒素蓄積に及ぼす影響

表10　窒素の分追肥対応（北海道施肥ガイド2010、一部改）

土壌区分	幼穂形成期前（6月5半旬～7月1半旬）の診断基準値（NH_4－N mg／100g乾土）			移植後（6月初旬）の診断基準値（NH_4－N mg／100g乾土）		
	良地帯	普通地帯	不安定地帯	良地帯	普通地帯	不安定地帯
低地土（乾）	3.0	2.5	2.0	4.5	4.0	3.5
低地土（湿）	2.5	2.0	1.5	4.0	3.5	3.0
泥　炭　土	2.5	2.0	1.5	3.0	2.5	2.0
火 山 性 土	3.5	3.0	2.5	5.0	4.5	4.0
台　地　土	2.5	2.0	1.5	3.0	3.0	2.5

注1　分析値が表の数値より低い場合に分追肥対応を行う。なお、移植後診断では、その後の生育が順調な時のみ分追肥対応を行う。
注2　分追肥を実施する差異の施肥量：2kg／10a
注3　施肥時期：幼穂形成期から幼穂形成期後1週間
注4　土壌採取法、分析法は「低蛋白米生産をめざした水田土壌窒素診断の手引き」を参照する。
注5　地帯区分は、「北海道施肥ガイド2010」を参照する。

(5)　施肥と混和の時期

一戸あたり作付面積の増加にともなって、肥料散布、混和と入水のタイミングがずれた場合に問題が生じることがある。

水稲に使われる窒素肥料はアンモニア態が多い。アンモニア態の窒素は土壌中で硝酸に変わる。アンモニアはプラスイオンであるから、マイナスに帯電した土の粒子と結合して流れにくいが、硝酸は土に吸着されないので流れやすい。アンモニアが硝酸に変わったあとに、入水して代かき、落水すると硝酸は水に溶けて圃場から出てしまう。残った硝酸も湛水にともなう土壌の還元化の際に酸素を奪われて、窒素ガスになるため、水稲にはわずかしか利用されない（図15）。

図15　施用したアンモニア態窒素の形態変化

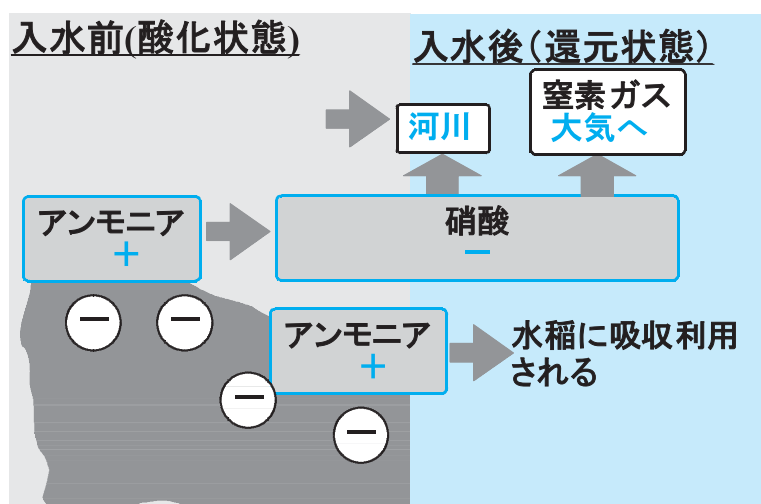



表11　施肥後の日数が硝酸化成におよぼす影響

施肥後入水までの日数	排水中の硝酸濃度（mg/ l ）
3	18
11	20
16	43

アンモニアが硝酸に変わる反応は土壌微生物の働きによって進み、酸素を必要とする。そのため乾田で地温の高い方が早く進む。表11に施肥後の日数と落水中に含まれる硝酸態窒素の量を示した。施肥後入水までの日数が10日以上になると、硝酸態窒素の量が急激に増える傾向が見られる。

施肥、混和後１週間程度以内に入水すれば、硝酸化成はあまり進まないので問題は生じない。しかし、面積が広く施肥と入水の間隔が空かざるを得ない場合には、混和だけでも遅らせる。表面に散布した状態では土に混ぜられたものに比べて、硝酸化成が１／２程度に遅れる。

「最近、肥料の効きが悪い」と感じている場合は、施肥・混和と入水の間隔が空き過ぎていないかチェックする。

(6)　リン酸、カリ、苦土施肥の適正化

窒素のみならず、リン酸、カリ、苦土も水稲の生育、収量等に影響を及ぼすため、施肥の適正化が必要である。全道の定点圃場を対象とした定期的な土壌調査では、水田の有効態リン酸含量は一貫して増加傾向にあり、調査地点の93％が基準値以上となっているなど、養分の蓄積傾向が認められている(「北海道耕地土壌の理化学性の実態・変化とその対応（1959～2007年）（平成22年指導参考）」)。施肥コストの低減のためからも、土壌診断を活用した施肥の適正化が望まれる。表12～14にリン酸、カリ、苦土、それぞれの土壌分施値に対応した施肥量を示した。リン酸、カリ、苦土の土壌分析値は通常の圃場管理を継続している場合は変化が小さいため、３～４年程度継続して利用することが可能であるが、基盤整備等で作土を大幅に移動した場合は、その後１～２年間は土壌診断を実施する。なお、カリについては、たい肥等有機物施用に伴う減肥対応も考慮する（表８参照）。

表12　リン酸肥沃度に対応したリン酸施肥量（北海道施肥ガイド2010）

有効態リン酸含量（P_2O_5 mg/100 g）	施肥量（P_2O_5 kg/10 a）
～5	16
5～10	12
10～20	8
20～30	6
30～	4

注1　分析法はブレイNo.2法（1：10）による
注2　施肥量は、「ようりん」などリン酸質資材を含む施用量
注3　側条施肥の実施時においてリン酸減肥を行う場合は基本的に全層施肥部分から減肥する

表13　カリ肥沃度に対応したカリ施肥量　（北海道施肥ガイド2010）

交換性カリ含量（K_2O mg/100 g）	施肥量（K_2O kg/10 a）
～7.5	14
7.5～15.0	11
15.0～30.0	8
30.0～	5

表14　苦土肥沃度に対応した苦土施肥量　（北海道施肥ガイド2010）

交換性苦土含量（MgO mg/100 g）	施肥量（MgO kg/10 a）
0～25	1～2
25～	無施用

3　ケイ酸資材の施用

(1)　ケイ酸の効果

水稲におけるケイ酸施用には、病害虫（葉鞘褐変病、褐変穂、いもち病など）に対する抵抗性の向上、受光態勢（葉の直立など）改善、根活性向上、耐倒伏性向上、葉身老化（下葉枯上がり）軽減などの効果が期待できる。

ケイ酸は、これらの効果を通して収量・品質向上に有効に作用するため、良食味米安定生産のためには、窒素養分とともにケイ酸養分供給の適正化が重要である（図16）。

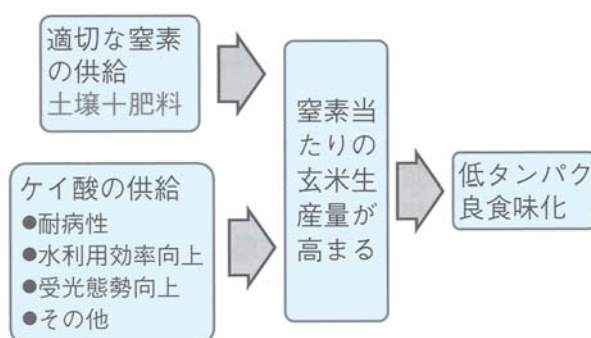



図16　良食味米生産におけるケイ酸の役割

(2)　ケイ酸の適正施用量

他要素と同様に、ケイ酸についても土壌診断に基づいた施用量が示されている（表15）。土壌分析値がない場合には、土壌区分に対応してケイ酸を施用する（表16）。

表15　ケイ酸肥沃度に対応した資材施用量　（北海道施肥ガイド2010）

ケイ酸含量 （SiO_2 mg/100ｇ）	ケイカル施用量 （kg/10ａ）
0～10	180～240
10～13	120～180
13～16	60～120
16～	0～60

注１　分析法は湛水保温静置法による
注２　グライ土、泥炭土では施用範囲内の高い数値を適用する
注３　他資材についてはケイカルとの肥効差を考慮して施用する
注４　幼穂形成期１週間後のケイ酸追肥（ケイ酸質肥料20kg／10ａ）は低タンパク米生産に有効である

表16　土壌区分別ケイカル施用量

（北海道施肥ガイド2010）

土壌区分		ケイカル施用量 （kg/10ａ）
低地土（乾）		90～120
低地土（湿）	灰色低地土	120～150
	グライ土	150～180
泥炭土		150～180
火山性土		120～150
台地土	灰色台地土	120～150

注１　可給態ケイ酸分析法が無い場合利用

⑶　ケイ酸の補給対策

ケイ酸肥料の施用は、成熟期茎葉のケイ酸／窒素比を高める。ケイ酸／窒素比が高い水稲は吸収した窒素あたりの子実収量が向上するために、白米タンパクが低下し、かつ玄米の白度も高まる。現地の試験でも多少バラツキがあるものの、多くの試験地で収量、タンパクに対してプラスの効果が得られている（表17）。

これらの効果は、基肥よりも追肥で高く、幼穂形成期１週間後に20kg／10ａ程度のケイ酸資材を施用することが有効である（表18）。これは施用したケイ酸の水稲による吸収効率が基肥に比べ追肥の方で高いためである。

表17　ケイ酸の施用効果

項　　目		ケイ酸の施用効果、対照との比較		
		30kg／10以上増収	差が30kg未満	30kg／10ａ以上減収
収量	件数	17	17	5
	%	44	44	13

項　　目		0.3%低下	差が0.3%未満	0.3%以上増加
タンパク	件数	18	20	1
	%	46	51	3

上川、空知、石狩、後志地区施防協の成績、（平成14年度：北海道米麦改良.501号．平成15年１月）

表18　ケイ酸の施用法がタンパク、ケイ酸吸収効率に及ぼす影響

ケイカル施用量（kg／10ａ）	白米タンパク（%）	総窒素吸収量（kg／10ａ）	総ケイ酸吸収量（kg／10ａ）	茎葉のケイ酸／窒素比	施用したケイ酸の吸収率（%）
無施用	6.5	11.1	80.6	17.8	－
基肥150kg	6.1	10.1	84.0	18.5	8
追肥20kg	5.4	9.8	83.1	21.2	42
追肥40kg	5.5	10.0	83.2	21.5	22

北海道米の食味・白度の変動要因解析と高位安定化技術（平成13年指導参考事項）

実際のケイ酸施用にあたっては、土壌分析に基づいて基肥施用を基本とし、それに追肥を組み合わせる。基肥施用の方法としては融雪剤を兼ねた雪上散布、あるいは耕起前に散布し、耕起時に混和する方法がある。追肥の場合、水田用乗用管理機に装着可能な散布機(「水稲に対するケイ酸資材の機械散布技術（平成21年指導参考)」)の利用も可能である。

4　「タンパクマップ」から考える

1）「タンパクマップ」とは

「タンパクマップ」は、衛星画像データからタンパクを推定し、その高低によって色分けした地図であり、市町村などの広い地域内における差異が一目でわかるようになっている。色分けできる区画の大きさは衛星の能力の違いや、使用目的によって異なるが、衛星によっては一筆内のタンパク変動まで表すこともできる。

「タンパクマップ」は稲体の色からタンパクを推定しており、簡単にいえば、登熟期の緑色が濃いほど高タンパクと判断する。推定値であるため、個々の圃場で実測値と比較した場合、多少の違いはあるが、活用すべき多くの利点がある。利点のひとつは現地調査、分析を経ずに水田ごとにタンパクがわかる点である。実績では農家単位や、数枚の圃場が一緒になって評価されることが多い。もうひとつは、「ご近所」のタンパクの傾向がわかる点である。また、年次を重ねることで、変化の方向や、変動の程度などもわかる。

2）まわりの圃場との比較

「タンパクマップ」をみると、タンパクの高い地帯、低い地帯がありそうなことがわかる。図17の例ではもとの図（左）とこれをもとに２km四方の平均をとったもの（平均化処理、右）を示した。平均化処理によってタンパクの高い地帯、低い地帯がより鮮明に見えてくる。これまでの知見から、タンパクに最も大きな影響を及ぼす要因は「土壌区分」であり、「タンパクマップ」においてもタンパクが高い地域や低い地域などはこの「土壌区分」を反映することが多い。ここから改善策を考える上での糸口が見えてくる。

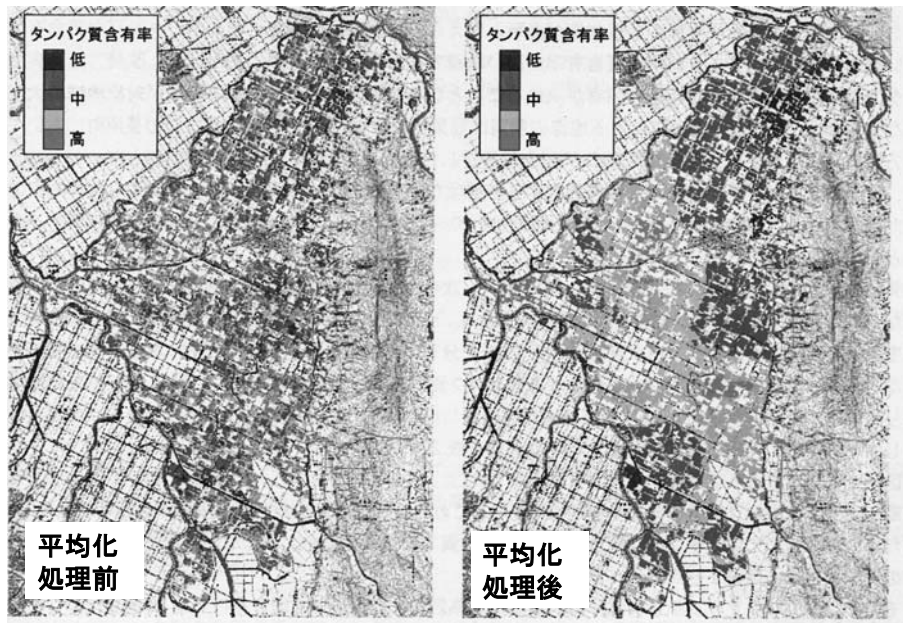



図17　平均化処理によるタンパクマップの表示の比較

中央農試から提案された対策例を表19に示した(「衛星リモートセンシングによる米粒タンパクマップの高度化と利活用技術（平成16年普及推進)」。タンパクが高い地域は、繰り返し記すように土壌に問題があることが多い。土壌図と重ね合わせれば、その要因がはっきりする。この場合個々の栽培管理、圃場管理で対応するには限界があるので、機会を捉えて地域全体で基盤整備の推進をはかる（表19の区分Ⅰ、Ⅱ)。

タンパクの高い地域で、さらに周辺と比べて相対的に高い水田では、栽培管理の改善も優先すべきである（表19の区分Ⅰ)。その際にチェックすべきなのは、まずは基本技術（窒素施肥量の適正化、ケイ酸施用、側条施肥の導入、健苗育成、適期移植、栽植密度向上、水地温上昇対策、登熟中後期の水管理など）であり、稲わら処理について見直す必要があるかもしれない。タンパクは高いが、周辺と大差ない水田（表19の区分Ⅱ）でも、近傍にタンパクの低い水田があれば、低タンパク化にチャレンジする価値がある。その際のチェックポイントも上の例と同様である。

タンパクの高くない地域で、周辺に比べると相対的に高い水田（表19の区分Ⅲ）では、根本的な土壌条件よりも栽培管理が高タンパク化の要因になっている場合が多い。基本技術や稲わら処理などの点検を行う。

表19　タンパクマップから抽出された要改善地点の特徴と改善方策の例

区分	タンパク	周辺との差	特徴	主な改善方策
Ⅰ	8％以上	＋0.5％以上	タンパクは高く、さらに周辺に比べて相対的に高い	栽培管理の改善および基盤環境の改善
Ⅱ	8％以上	＋0.5％未満	タンパクは高いが、周辺と大差ない	基盤環境の改善および栽培管理の改善
Ⅲ	8％未満	＋0.5％以上	タンパクは高くないが、周辺に比べると相対的に高い	栽培管理の改善
Ⅳ	8％未満	＋0.5％未満	タンパクは高くなく、周辺との差もあまりない	改善の優先度は低い

（衛星リモートセンシングによる米粒タンパクマップの高度化と利活用技術（平成16年普及推進））

3）収量の実績とあわせて考える

タンパクが高く、収量も高い場合には、窒素供給量が多すぎる可能性が高い。まずは、窒素施肥量の適正化（減肥）を検討してみる。改善技術として減肥のみを導入すると収量だけ低下する場合があるので、減肥とあわせて側条施肥割合を高めるなど、初期生育向上対策を励行する。泥炭土であれば、浅耕代かき技術(「浅耕代かきによる泥炭地産米の低タンパク化技術（平成16年普及推進)」を小面積試みる。

タンパクが高く、収量が低い場合には、不稔歩合が高い可能性がある。まずは本田の水管理を見直すことが必要と考えられるが、それに問題がなければ、窒素施肥量の適正化、初期生育向上対策を試みる。

5　酒造好適米「吟風」「彗星」の栽培特性と品質改善対策

酒造好適米一般の主食用米とは異なる形質が求められる。品質実態調査の結果、「吟風」「彗星」のタンパクや千粒重、心白発現は年次間や産地間の変動が大きく、優先するべき改善点はタンパクおよび千粒重であった（図18）(「酒造好適米「吟風」「彗星」の栽培特性と品質改善対策（平成21年普及推進)」)。

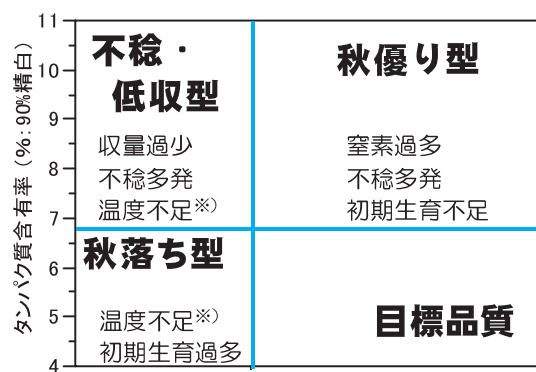
品質目標は、「吟風」ではタンパク6.8％未満、千粒重24ｇ以上、「彗星」では6.8％未満、25ｇ以上とする。これに対応する生育指標は、いずれの品種も幼穂形成期茎数が520本／㎡、穂数が500本／㎡、総籾数は「吟風」28千粒／㎡、「彗星」27千粒／㎡、精玄米重は「吟風」590kg／10ａ「彗星」610kg／10ａとした（表20）。

※） 出穂前24日以降30日間最高最低平均気温が低いことを示す

図18 産米品質区分から推定される品質低下要因（模式図）

表20 道産酒造好適米の品質目標と生育指標ならびに対応する栽培技術

			吟風	彗星
品質目標	白米タンパク質含有率(%)		6.8%未満（90%精白時）	
	千粒重		24g以上	25g以上
生育指標	生育期節	出穂期	上川中央部：7月6半旬頃 空知中南部：7月6半旬～8月1半旬	
	主要形質	幼穂形成期茎数	520本／m^2	
		穂数	500本／m^2	
		総籾数	28千粒／m^2	27千粒／m^2
		精玄米収量	590kg／10a	610kg／10a
	窒素吸収量	幼穂形成期	2～4kgN／10a	
		出穂期	7.5kgN／10a	
		成熟期	10.0kgN／10a （14kgN以上の時、倒伏が懸念）	
対応する栽培技術	移植時期		上川中央部：5月6半旬頃（成苗） 5月20日頃（中苗） 空知中南部：5月5半旬～6半旬（成苗）	
	施肥量		一般うるち米の施肥標準に準じる	
	タンパク質含有率の低減が優先されるとき	側条施肥	初期生育の向上やタンパク質含有率低減に有効。ただし千粒重が減少する場合があり留意する。	
		栽植密度	初期生育不良の時、栽植密度の増加は初期生育の向上やタンパク質含有率低減に有効。ただし千粒重が減少する場合があり留意する。	
	冷害危険期の深水管理		不稔の抑制はタンパク質含有率低減に極めて有効。不稔対策の徹底が必須である。 ※）品質目標のため、不稔歩合は「吟風」15%未満、「彗星」16%未満が目安。	
	収穫適期		出穂後の平均気温積算値 1050～1100℃	

（酒造好適米「吟風」「彗星」の栽培特性と品質改善対策（平成21年普及推進））

Ⅶ　良質・良食味米生産のための収穫・乾燥・調製と稲わら収集

執筆：地方独立行政法人　北海道立総合研究機構中央農業試験場　生産研究部
部長　竹　中　秀　行

良質・良食味米生産のための収穫・乾燥・調製と稲わら収集

1 収　　　　穫

1）収穫適期の判断

収穫適期は米の品質を左右する重要な要因である。刈り取りが早すぎると未熟粒や青米が増加し、収量は減少する。刈り遅れると着色米・胴割れ米が増加し、茶米の発生、玄米白度の低下につながり、倒伏等によってさらに品質が低下する。籾の成熟期は株毎の出穂時期、１株内での出穂時期、１穂内での開花時期などにより、30日ほどの差が生ずると言われている。その結果、１穂中の粒別水分はばらつきが大きく、圃場における籾の単粒水分のばらつきは更に大きい。

収穫適期は以下の手順で積算温度や籾の熟色で成熟期を予測し、試し刈りした玄米を見て判定する。

⑴　積算温度で成熟期予測

出穂期以降の日平均気温の積算値が950℃に達する日を成熟期とする。積算値は品種や籾数の多少によって異なる。これから一週間後が収穫適期の目安と考えるが、あくまでも予想である。

⑵　籾の熟色による成熟期判定

予測による成熟期が近づいたら、好天日に１株あたりの黄化籾の割合を目視で確認する。成熟期は全籾の90％が黄化し、完熟籾となった日である。完熟籾かどうかは籾の付け根にある護頴が黄色になっていることで判断する。見る時は太陽を背にし、籾の裏側も忘れずに確認する。

⑶　試し刈りをして玄米による収穫適期判定

積算温度や籾の熟色で成熟期が近づいたら、試し刈りして玄米にし、整粒歩合で収穫適期を判断する。圃場の中で中庸な稲株を５株ほど試し刈りする、ばらつきの多い圃場では多めにサンプルを取るようにする。これを生脱穀し、乾燥、もみすりし、篩ったあと整粒歩合を確認する。確認は圃場ごとに行う。整粒歩合が70％以上となれば収穫適期とみなす。登熟は一般的に１日に２～３％進むので、参考とする（図１－１）。

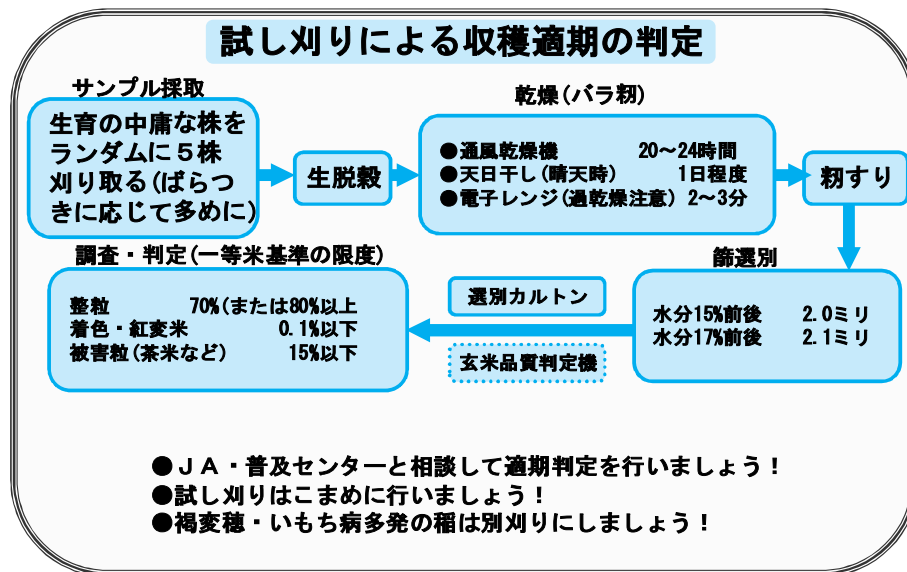



図１－１　試し刈りによる収穫適期判定

２）収穫作業のポイント

⑴　刈り取り計画

品種の熟期構成、乾燥機や調製・選別機の能力、作業人員、天候などを総合的に判断し、適期に刈り取りが終わるように計画を立てる。一方で、作業計画にゆとりをもたせ、作業事故を未然に防止することも重要である。

⑵　圃場および作物条件

①　圃場条件

出穂後の適切な期間、間断潅水などにより登熟向上や倒伏防止を図るとともに、生育期には溝切り、中干しなどを行い、コンバインが沈下しないよう地耐力の確保に努める。コンバインは接地圧が小さく、湿田でも走行できるが、田面が軟らかすぎると走行が困難となるか、作業能率が低下するほか、圃場表面を過度に練り返す。

②　作物条件

早刈りや露の付着で作物水分が高いと、コンバインの所要動力が大きく、搬送機構で籾の詰まりも発生しやすくなり、作業速度が低下に伴い作業能率は低下する。同時に、穀粒損失・損傷粒の増大や選別不良を引き起こすので降雨後や早朝、夜間の作業は避ける。同様の理由で倒伏している場合はなるべく「追い刈り」で作業する。

⑶　具体的な収穫法

①　高水分状態に対する対応

収穫時の生籾水分は高く、ばらつきが大きい。汎用コンバインで高水分収穫を行うときは、送塵弁、シーブの目開きなどを調整し、選別・分離機能が低下しないようにする。自脱コンバインも汎用コンバインもチェーンやベルトが緩んでいると傷籾の発生や選別不良につながるので、作業前にテンションプーリ（スプロケット）の張り具合を確

認し、必要があれば調節する。適正な状態は取扱説明書で確認する。

脱穀選別損失の量は収穫する作業時刻によっても異なる。朝露があると、わら、穂切れなどの付着や引っかかりが多く、網目が詰まって籾の漏下が悪くなり、機外への飛散や傷籾の発生が多くなるので避ける。

② 稲の倒伏に対する対応

自脱コンバイン（図１－２）は、株元をフィードチェーンで把持し、穂先を脱穀するので適応可能な草丈（稈長＋穂長）は55㎝以上130㎝程度までである。全長70㎝以下の場合は、刈り高さを地際すれすれに低くし、120㎝以上の場合は高刈りして、扱ぎ深さを一定に保つようにする。

倒伏した稲は稈が切れやすく、扱ぎ室でのわら屑の発生が多くなるため脱穀部が詰まりやすい。また、引き起こし爪の負担が増加し、搬送部での稲の乱れや穀粒損失が増大するなどの問題が生ずる。自脱コンバインで稲の倒伏角が60度以内の場合、作業速度0.5～0.8m／ｓであれば、どの方向からでも刈り取りが可能であるが、さらに倒伏角が大きくなると刈り取り方向によっては収穫損失が多くなり、作業速度も遅くしなければならない。この場合、作業能率が大幅に低下するとともに、穀粒損失も急激に増加することがある（図１－３、図１－４）。

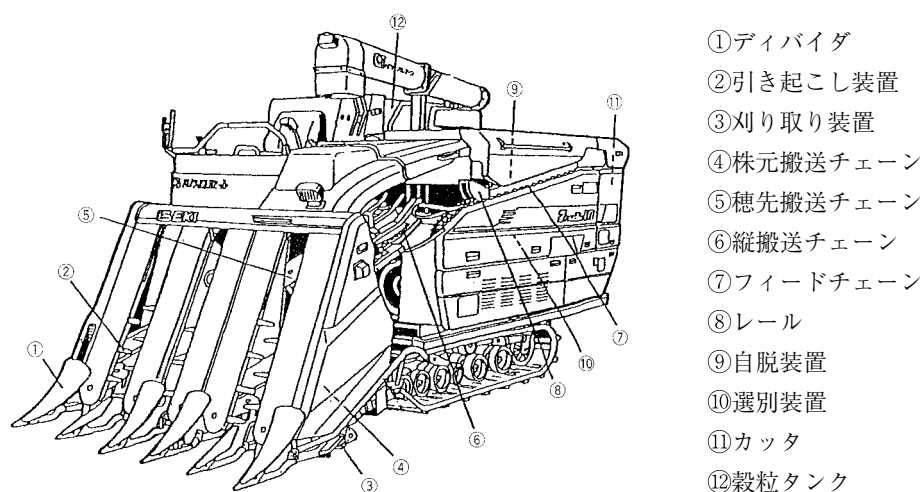



図１－２　自脱コンバインの構造

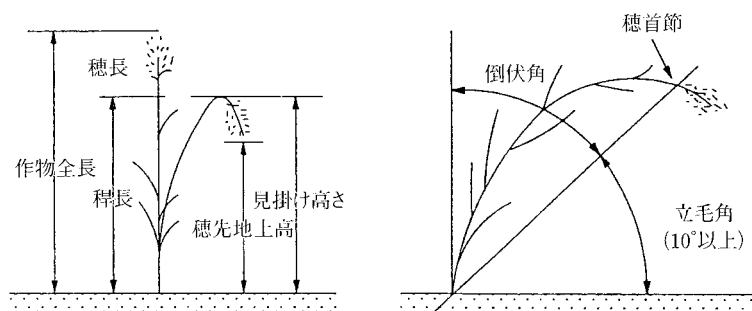



図１－３　作物の全長・立毛角・見掛け高（農業機械ハンドブック）

倒れぐあい／刈る方向は	完全倒伏の場合	中倒伏の場合	立毛状態の場合
①追い刈り	△	○	◎
②向い刈り	×	△	○
③左倒伏刈り	△	△	○
④右倒伏刈り	×	△	○

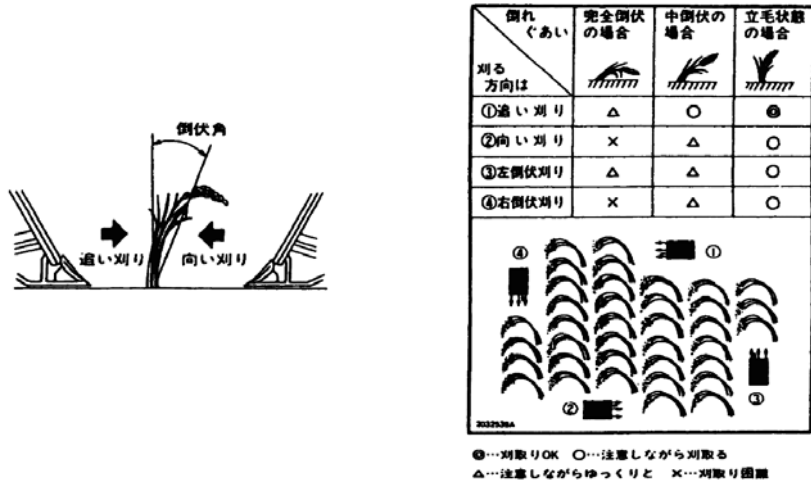



図１－４　自脱コンバインの倒伏稲への適応
（追い刈りと向かい刈り方法）

汎用コンバインでは、稲をリールで引き寄せながら作業するため、倒伏した稲でも比較的自由に作業方向を選択できる。しかし、完全に倒伏して穂発芽した稲や、何らかの原因で品質低下した籾を他の良い籾と一緒に収穫すると、全体の品質低下させることになるので別刈りし、別保管することが望ましい（図１－５）。

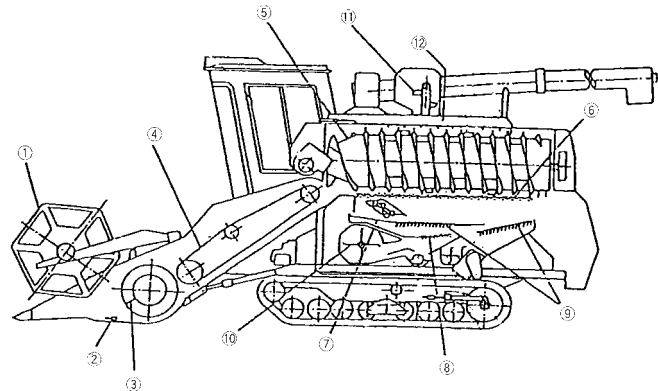



図１－５　汎用コンバインの構造
①リール、②刈刃、③オーガ、④チェーンコンベヤ、⑤脱穀シリンダ（スクリューロータ）、⑥受け網、⑦グレンパン、⑧グレンシーブ、⑨チャフシーブ、⑩選別ファン、⑪バケットコンベヤ、⑫グレンタンク

③　脱ぷに対する対応

収穫時に脱穀部のわら量が突然少なくなった場合やシリンダの回転数が高い場合など、完熟籾に過大な摩擦や衝撃力が加わったときに脱ぷが発生しやすくなる。脱ぷ粒の混入はわずかであっても品質、食味の低下原因となるので、収穫時にグレンタンク中の脱ぷの有無を時折観察して作業する。規定のシリンダ回転速度を守ってわらや穀粒の流

れが急激に変化しないように心がける。特に、旋回する場合などに回転を下げたり、脱穀クラッチを切ったりせず、脱穀作業中、エンジン回転数を常にフルスロットルで維持する事を心がける。

④　傷籾の防止

生籾は物理的衝撃によって傷が付きやすく、中の玄米も損傷を受けやすい。傷は籾の腐敗や乾燥時の胴割れ粒発生の要因となり、品質低下につながるので留意すべきである。傷籾を発生させないためには、①扱胴回転数を指示回転数にする、②扱ぎ深さを必要以上に深くせず、扱ぎ残しがない程度にとどめる、③排塵を適正にするため風量調節を行う。扱ぎ深さを浅くするのは、深くすると扱室内のわら屑が多くなり、傷籾、脱ぷ粒が生じやすくなり、所要動力も増大するからである。

⑤　その他の注意

圃場内で倒伏しているところ、登熟が遅れているところの稲はその他の稲と一緒にすることで品質低下を招くおそれがあるので別刈りする。褐変穂やいもち病発生のあった場所も同様である。生籾のまま長時間放置すると玄米が変色するので収穫した生籾は速やかに乾燥機で乾燥させる。

収穫前に圃場毎の作付け品種を確認し、異品種混入を避ける。品種が切り替わる時はコンバインをよく清掃する。おなじ機械で小麦を刈り取った場合はいうまでもない。また、刈り取りの時、泥や石などが入らないよう注意する。

3）コンバインの調整・整備

⑴　自動装置と調整

自脱コンバインに装着されている自動方向制御、流量・速度の自動制御、刈り高さ、扱ぎ深さなどの自動調整装置は、チェーンやベルトのゆるみ、シリンダ回転数や排塵板などが調節できていなければ、正常に作用せず、傷籾や選別不良の原因となる。

⑵　コンバインの点検整備

自脱コンバインは構造が複雑なため点検整備箇所も多い。事故を予防し、機械の性能を十分引き出すためにも、点検整備は必須である。コンバインによる傷害事故は、作業中にわらやわら屑などの詰まりや引っかかりを除去する際に多く発生している。このような場合はエンジンを止めてから整備を開始しなければならない。収穫作業を始める前の十分な点検整備がトラブルを最小限にとどめるコツである。点検整備や調整にかけた時間は、作業が快調であれば十分取り戻すことができ、調整された機械では収穫損失や損傷は少ない。選別の良い籾は乾燥も効率的にできる。

異種穀粒の混入を防止するため、麦刈り後のコンバインは、コンプレッサや掃除機を利用して、徹底的に掃除をする必要がある。自脱コンバインや汎用コンバインは脱穀部が開放できるので点検・清掃がしやすい。清掃時にはエレベータなどの搬送部やグレンタンクの底部も点検する。

2 乾　　　燥

1）乾燥の目的

穀物の乾燥は、収穫物の品質を損なわずに貯蔵可能な水分まで低下させることを目的とする。主要穀物の出荷時の水分上限は農林水産省の農産物検査規格で定められており、もみは14.5％、玄米は15％に下げることになっている。米の食味を低下させることなく、品質の高い「商品」として出荷するために、以下の事項を十分理解して乾燥を行う必要がある。

2）乾燥と品質

(1)　水分と品質

収穫後の籾は高水分であるほど貯蔵中の異臭の発生や発芽率低下による品質の劣化を起こしやすいため、速やかに乾燥する必要がある。安全貯留限界日数は籾水分や貯留温度が高いほど短くなる（図２－１）。

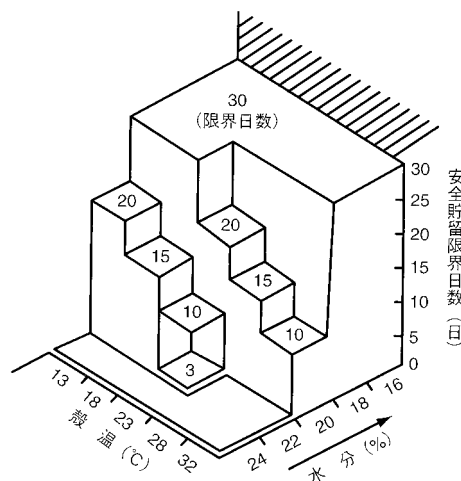



図２－１　籾の安全貯留限界日数
（四国農試）

(2)　胴割れと食味

胴割れ米は検査等級格下げの原因となるだけでなく、精米時には砕米の発生原因となり、食味にも悪影響を及ぼす。砕米混入率の高い米飯は外観、粘りが劣り、食味総合評価が低下する。

1．胴割れ米の定義

胴割れ粒とは、玄米の胚乳部に亀裂の生じている粒をいう。

2．胴割れ粒の分類

① 軽胴割れ粒…精米上の影響が少なく、被害粒として計数されない程度の胴割れ粒

② 重胴割れ粒…検査の際に被害粒として計数される程度の粒

③ 全胴割れ粒…軽胴割れ粒＋重胴割れ粒

胴割れは籾の乾燥速度や玄米の吸湿速度が早い時に発生する。乾燥速度を高めると、粒の内部と外部との水分差によってひずみが生じ、胴割れが発生する。熱風乾燥では毎時乾減率が0.8％／ｈを超えると胴割れの発生が多くなり、その発生程度は立毛時の胴割れの発生程度、乾燥開始時の籾水分、熱風温度や湿度に影響を受ける（図２－２）。同じ乾燥温度でも籾水分が高く、入気湿度が低いほど胴割れは発生しやすい。このため、晴天日など空気が乾燥している日では曇天日よりも乾燥速度が速くなるため、熱風温度を下げる必要がある。張り込み量が少ない場合には、満量張り込み時よりも乾燥速度が速くなるので熱風温度を低く設定する。また、立毛時に胴割れが発生している場合は、軽胴割れが乾燥

によって重胴割れになりやすいので、このような場合には、毎時乾減率を0.5～0.6%程度になるよう乾燥温度を低く設定する。テンパリングを行うと貯留中に粒の内部から外部へ水分移行が行われるため、連続乾燥に比べて胴割れの発生が少ない。

図２－２　循環式乾燥機による乾燥時の乾減率と胴割れ

⑶　過乾燥と食味

過乾燥米は米粒が硬いため、搗精時には搗精むらの発生、白度の低下や砕米の発生も増加する。また、炊飯時に過乾燥の精米を浸漬すると玄米水分が低いほど表面亀裂が多く発生する。その結果、過乾燥米は砕米率が低くても、炊飯時に澱粉の溶出が多くなり、食味が低下する。また、過乾燥で硬い玄米は糠層の除去が不十分となりやすく、炊飯時に糠臭が発生する場合もある。

北海道は青米の混入率が高く、１粒毎の籾水分を均一に乾燥するのは難しい。乾燥時に籾水分の測定を行うが、青米や屑米が混入したまま水分を測定すると水分は高く表示されるため、これらを除いた精玄米で測定しなければならない。過乾燥防止の決め手は、原料籾を良く選別し、水分差を小さくすることである。また、圃場の生育むらを極力なくし、畦畔周囲や暗きょの周辺、水口や倒伏している場所を区別して収穫を行い、出来るだけ水分が均一となるように配慮する必要がある。

⑷　発芽率と食味

発芽率の確保は種子用では自明であるが、発芽率は食味との関係も強い（図２－３）。発芽率の低下は初期水分と送風温度が影響するため、初期水分が高いほど低い温度で乾燥する必要がある。水分25%程度の籾では40℃以内の送風温度で乾燥する。

図２－３　籾の発芽率と食味

3）実際の乾燥に際して

⑴　収穫時の籾水分

成熟期の籾の水分分布はかなり広範囲で、単粒水分の分布幅は収穫適期といわれている成熟後０～５日頃に最も大きくなる（図２－４）。水分の異なる籾を一定の水分に仕上げ、品質の良い米に乾燥するためには、一粒毎の籾の状態を考慮に入れた合理的な乾燥を行うことが必要である。

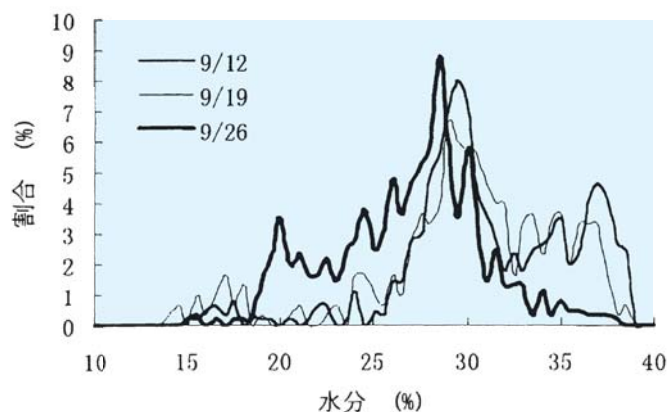



図２－４　コンバイン収穫籾の単粒水分分布
（中央農試）

⑵　乾燥時の籾水分

乾燥の経過とともに、単粒水分の分布は低水分側に移り、分布幅が狭くなる。乾燥の仕上がりは平均水分で判定するので、分布幅が広いと過乾燥あるいは乾燥が不十分な籾が混在していることになるため、分布幅は狭い方が良い（図２－５）。

一般に、乾燥が進み、籾水分が低下すると毎時乾減率は徐々に低くなる。また、乾燥速度が大きいほど胴割れは起こりやすい（図２－６）。

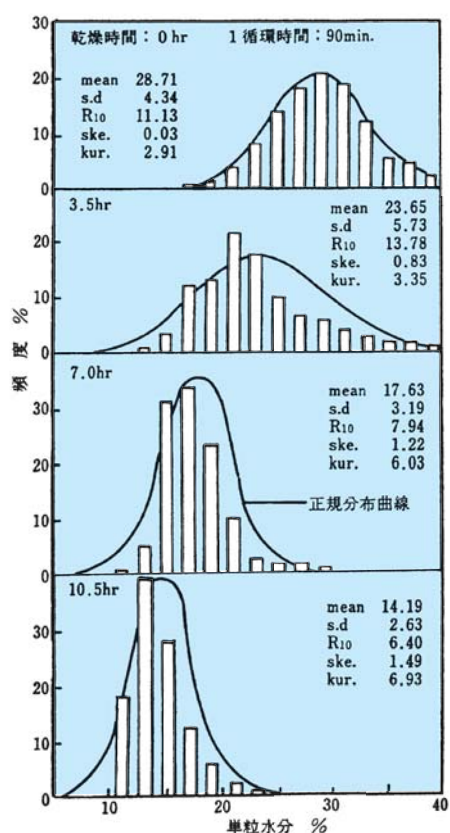



図２－５　乾燥中の籾単粒の水分分布（笠原ら）

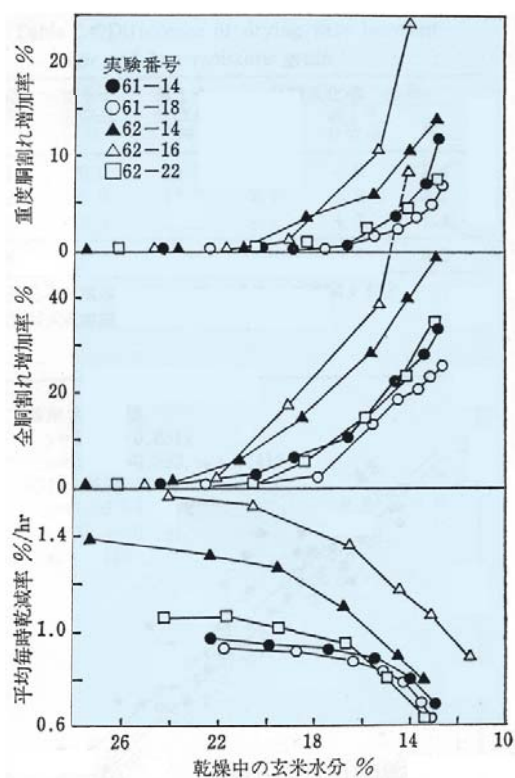



図２－６　過乾燥と胴割れの関係（笠原ら）

⑶　（テンパリング）貯留時の水分特性

貯留時には高水分粒から低水分粒への水分移動が行われ、水分のばらつきが減少する。水分約20%の籾を35℃の定温器で密閉貯留したときの水分経過を見ると、高水分の籾は放湿し、低水分の籾は吸湿するため水分のばらつきが小さくなる。粒間の水分移行は概ね24時間で85%が完了し、２日間で平衡に達する（図２－７）。一次乾燥終了後（平均水分16.8%）の籾を約24時間貯留した後の籾の単粒水分分布を見ると、貯留により平均水分に変化は認められないが、単粒水分の分布幅が狭くなる（図２－８）。

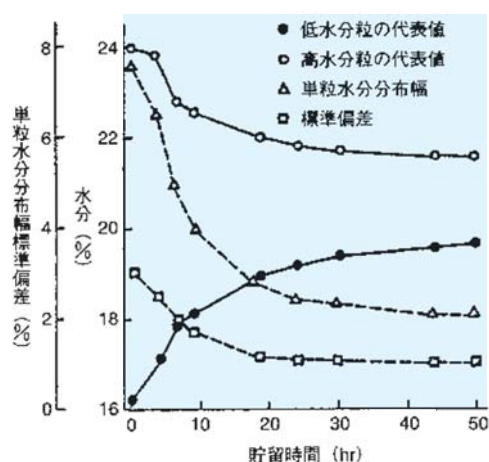



図２－７　貯留中の粒間水分移動

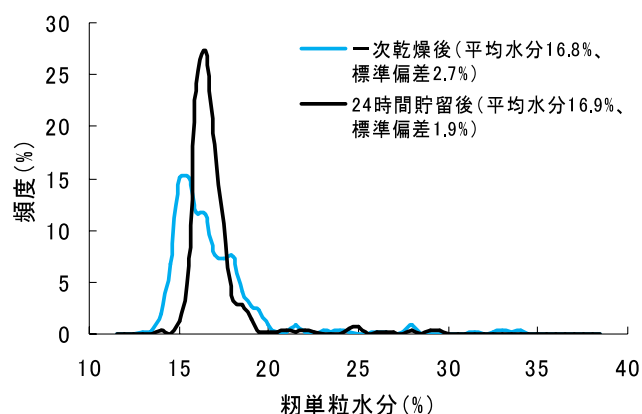



図２－８　貯留時の単粒水分分布の変化

⑷　二段乾燥のメリット

連続乾燥終了後の玄米水分の変化は、玄米と籾殻の水分差と、高水分未熟粒の混入による。乾燥終了後、余熱や玄米と籾殻との間の水分移行により玄米水分は減少する。高水分な未熟米が多いと未熟米から整粒へ水分が移行するので整粒を中心に測定すると「水分の戻り」が現れる。水分の戻りを気にする余り、過乾燥気味な玄米をより低水分に仕上げると、胴割れの発生を促進させる結果となることがある。

循環式乾燥機による連続乾燥において水分のばらつきをできるだけ解消する上で有効な方法として二段乾燥がある。二段乾燥は乾燥を仕上げまで一気に行わず、貯留工程を設けて高水分粒と低水分粒間の水分移行を促す方法である。乾燥終了時点での精玄米と青未熟との水分差は２～４％であり、時間の経過とともにわずかではあるが差が縮まり、全体的に水分が減少する。特に、精玄米に注目すると水分が戻ることはなく、むしろ低下する。つまり、放冷後の水分の戻りが起こらないので目標水分どおりに乾燥を終了させることができる。一次乾燥終了時の水分は、高水分では変質する危険性があり、低水分では低水分粒の過乾燥が避けられないため、18%程度が目安である（図２－９、図２－10）。

胴割れ発生の原因としては乾燥速度や過乾燥のほか、籾の水分むらがあげられる。単粒水分むらが大きい籾を乾燥した場合には高水分粒は乾燥速度が速く、低水分粒は過乾になるため、どちらの粒も胴割れが発生しやすくなる。つまり、水分むらを是正しながら乾燥を進めないと胴割れを防ぐことは難しい。この水分むらは乾燥休止により解消できる。平

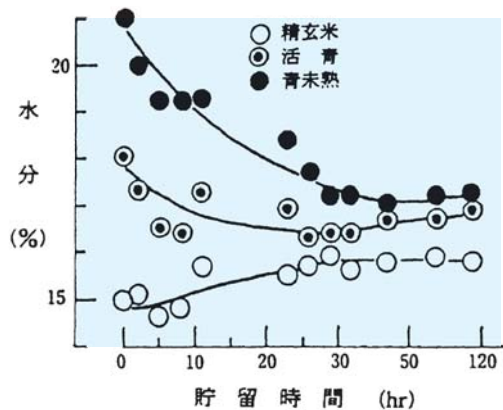



図２－９　一次乾燥後の水分変化（山形農試）

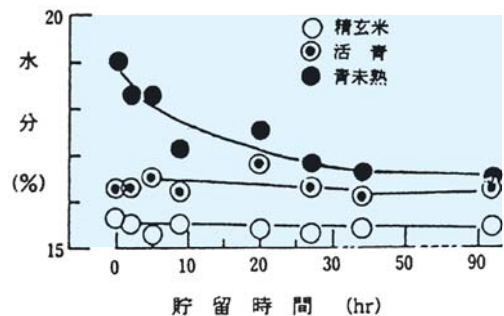



図２－10　二段乾燥後の水分変化（山形農試）

均水分20％の籾について乾燥休止中の単粒水分分布の時間的変化を表した（図２－11）。高水分の籾は放湿し、低水分の籾は吸湿するため水分のばらつきが小さくなる。なお、休止中の青米の水分変化等から判断すると、休止時間は24時間以上とするのが望ましい。

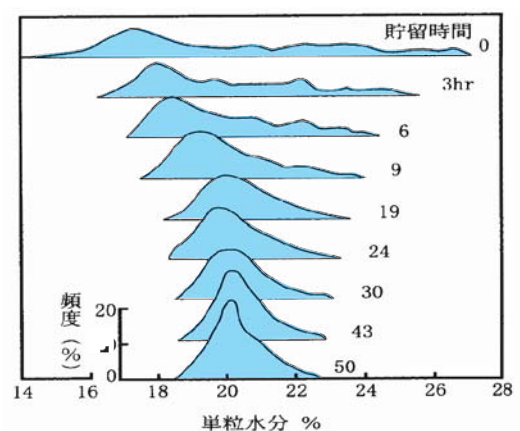



図２－11　貯留中の単粒水分分布の
（山形農試）

４）乾　燥　機

⑴　遠赤外線乾燥

品質維持と、より効率的でエネルギコストの低い乾燥システムとして開発された遠赤外線乾燥機は近年、籾乾燥の主流となりつつある。遠赤外線は穀物内の水分に吸収されやすいエネルギであり、遠赤外線の放射エネルギ量は、放射体温度の４乗に比例する。この原理を利用し、バーナで加熱した放射体から遠赤外線を放射させ乾燥を行うのが遠赤外線乾燥機である。放射体から排出される排熱で加温した熱風も乾燥エネルギとして利用することにより、エネルギ効率の向上を図っている。遠赤外線乾燥では、穀物水分の除去に必要なエネルギが空気を媒体とせずに穀物へ伝達されるため、送風量を少な

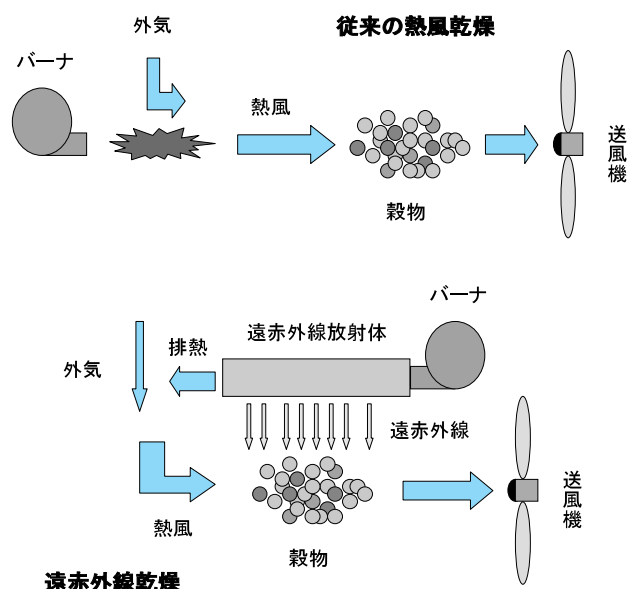



図２－12　遠赤外線乾燥の模式図

く設計できる。遠赤外線乾燥機は放射体の設置位置により、熱風路内設置型と集穀室内設置型に大別される（図２－12、図２－13）。遠赤外線の照射範囲は１㎝程度であるため、集穀室内設置型では穀物を薄い層で流下させ、むらなく全粒に遠赤外線を照射するように作られている。

遠赤外線乾燥は、燃料および消費電力量の節減効果があり、容量約30トンの遠赤外線乾燥機による乾燥例を示した（図２－14）。この例では遠赤外線乾燥機では熱風乾燥機よりも乾燥時間が約30％短縮され、灯油消費量は10％程度、消費電力量は40～50％程度削減されている。これは遠赤外線乾燥では穀温の上昇が早く穀物内の水が蒸発されやすくなるためである。また、遠赤外線乾燥のメリットとして胴割れ発生の軽減がある。容量が同じの遠赤外乾燥機と熱風式の循環式乾燥機による胴割れ率を比較した（図２－15）。立毛胴割れが多い原料での試験結果である。胴割れは乾燥速度を高めると発生しやすいのに対し、遠赤外線乾燥は循環式乾燥機よりも乾燥速度が早い場合でも、胴割れの発生が少ない。また、遠赤外線乾燥した米の食味は熱風乾燥と同等もしくは若干優ると評価される場合が多い（図２－16）。その他、遠赤外線乾燥機には送風量を少なくできること、バーナの燃焼を放射体内部で行うため騒音が低減するなどの利点がある。

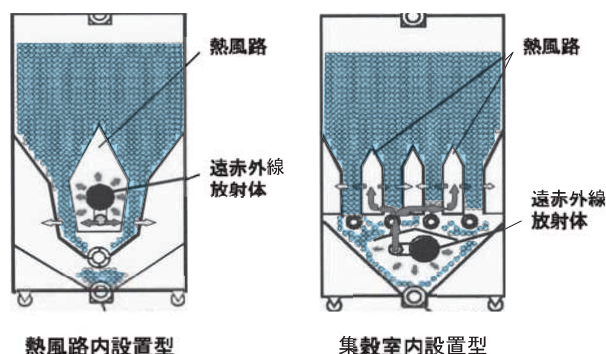



図２－13　遠赤外線乾燥の種類

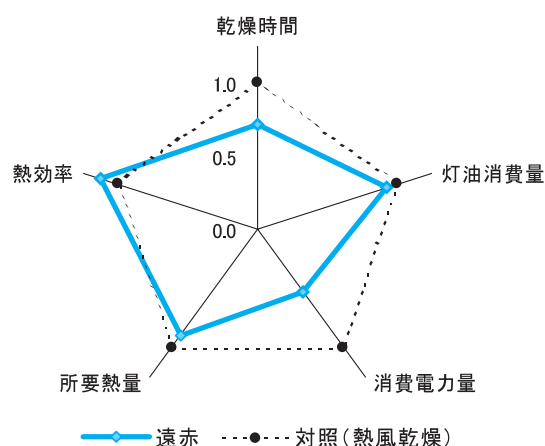



図２－14　遠赤外線乾燥の省エネ効果

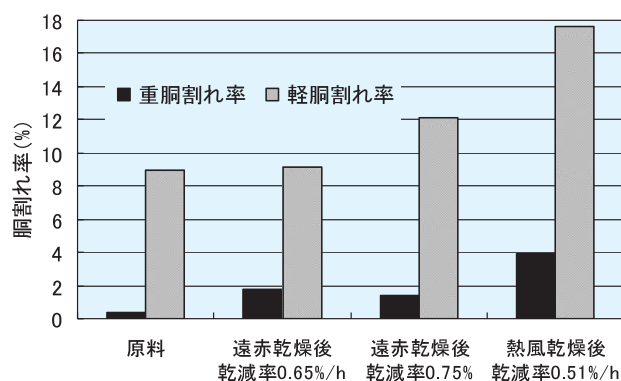



図２－15　乾燥条件と胴割れ率

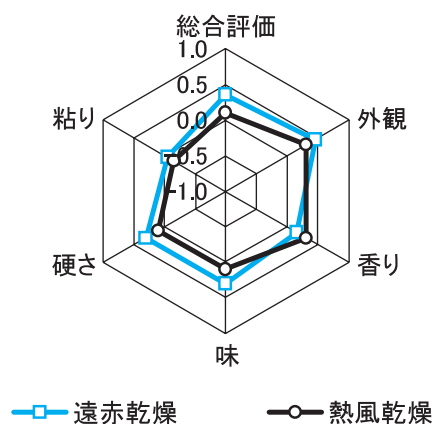



図２－16　乾燥法と食味

⑵　加温部管を利用した乾燥方式

遠赤外線乾燥機と同様に、穀温を効率よく上昇させ、水分が蒸発しやすい状態にしてから、低温少風量で乾燥を行う方式の加温部を設けた乾燥機がある。この方式ではバーナにより加熱された加温管からの伝導熱と加温管から放射される放射熱（遠赤外線）、および対流熱（熱風）を利用して乾燥する（図２－17）。この方式も遠赤外線乾燥機同様に燃料および消費電力量の節減効果、騒音低減効果がある。

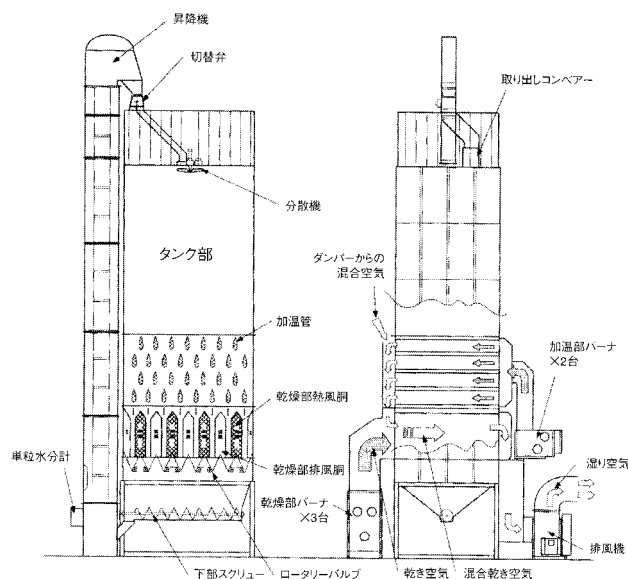



図２－17　加温管方式の乾燥機

⑶　合理的な乾燥制御

近年、乾燥中の穀物水分や穀温、熱風温度を随時測定しながら制御する乾燥機が普及している。高水分時には熱風温度を低めにし、水分が減少するにつれて熱風温度を高める逐次昇温乾燥法や、高水分時および胴割れの危険性の高い低水分時には熱風温度を低くし、品質面からみて安全な水分域では熱風温度を上げる高低水分域規制乾燥などがある。

⑷　乾燥機の点検

乾燥機内部に付着した残存物は細菌やカビの発生源となり、また別の穀物を乾燥する際の異種穀粒の原因ともなることから、排出が終わったら必ず取り扱い説明書の手順を読んで清掃して除する。目標乾燥水分で乾燥を終えるために、乾燥機に内蔵されている水分計の特徴を把握し、適宜補正をする。また、些細な故障が火災などの思わぬ事故につながることもあるため、定期点検は重要である。

3 調　　製

1）乾燥から調製へ

共同乾燥調製施設で乾燥する場合は、トラックにコンバイン収穫籾が満載となれば速やかに乾燥調製施設に運搬する。

代表的な共同乾燥調製貯蔵施設の「荷受けから乾燥終了までの選別調製ライン」を示した（図３－１）。乾燥調製施設で荷受けされた籾は、粗選機により夾雑物を除去した後、計量を行い、貯留ビンに一時貯留する。この途中で、サンプルの採取を行い、籾の自主検査を行う。

乾燥機の容量とほぼ同量の籾が貯留ビンに溜ると乾燥を開始する。荷受けした籾水分が低い場合は仕上げ水分まで乾燥し、乾燥を終了させる。水分が高い場合は二段乾燥を行う。一次乾燥で分18％程度まで乾燥した後貯留ビンで１次貯留を行い、籾水分のばらつきを少なくした後、仕上げ乾燥により乾燥される。

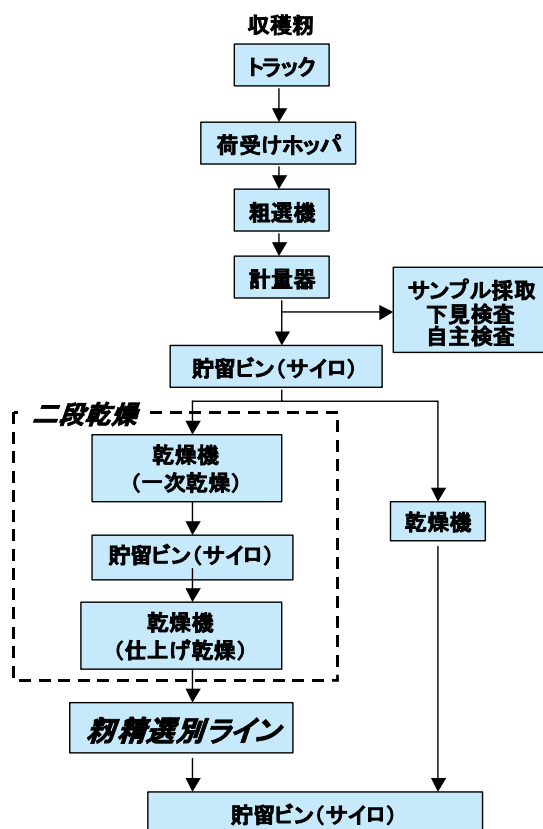



図３－１　荷受けから乾燥終了までの選別調製ライン

●粗選機

乾燥調製施設に搬入されたコンバイン収穫籾中にわら、穂切れ粒、枝梗付着粒などの混入が多い場合、穀粒の流動性が悪く、搬送、乾燥などの作業に支障を生じるため、予め除去するため、粗選機を使用する。粗選機は金網式の回転選別円筒（スカルパ）と吸引選別ファン（アスピレータ）を併用したものが大半である。カントリーエレベータなどで使用されている粗選機の毎時処理量20～30ｔ／ｈで、複数台を装備し、荷受量の低下防止を図っている。

2）籾の精選別

乾燥が終了した籾は貯留ビンあるいはサイロに貯蔵されるが、乾燥を終了したばかりの籾には、稲わらや異種穀粒、石礫や金属片などの異物や未熟粒、被害粒、脱ぷ粒や砕粒やしいなが混入している。

そこで、長期間の籾貯蔵前には、製品内に混入する異物の除去、製品の品質向上、籾摺り歩留の向上、貯蔵施設の効率向上などの目的で籾の精選別が行われている（図３－２）。籾摺りラインにはこれらを除去する選別機が装備されていないため、搗精前には必ず実施することが重要である。

籾の精選別ラインではまず、風力選別機でしいなやわらなどの夾雑物を除去する。その

後、比重選別機により脱ぷ粒・砕粒、しいな・未熟粒・被害粒と精籾の３区分に選別する。比重選別機で比重の重い方に大半の脱ぷ粒や砕粒、石礫が集まる。インデントシリンダ型によっても選別機により脱ぷ粒や砕粒、石礫の選別を行うが、比重選別機に比べ、インデントシリンダ型選別機の処理量は低い。つまり、最初に大量の籾をインデントシリンダ型選別機に流し、脱ぷ粒や砕粒、石礫の除去を行っても、その選別精度は低いため、比重選別機による選別を先に行う方が望ましい。比重選別機とインデントシリンダ型選別機で選別した精籾は貯留ビンやサイロに貯蔵する。

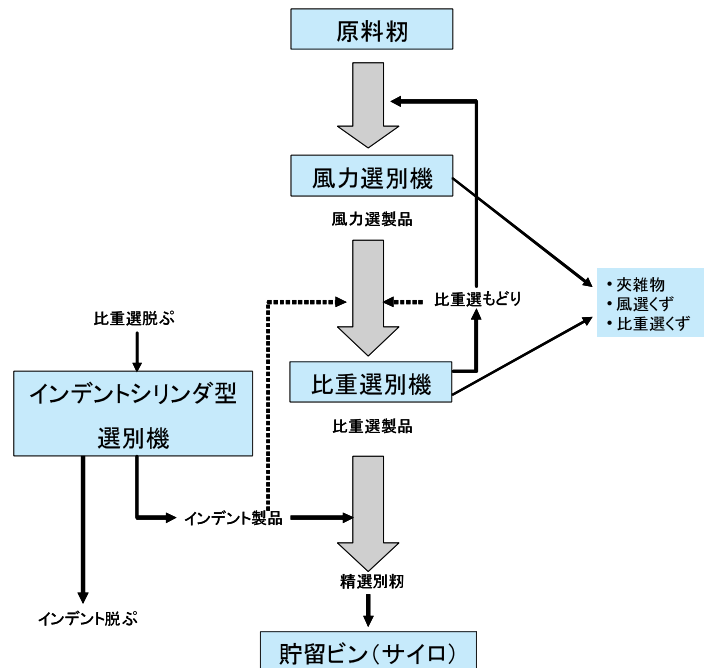



図３－２　籾の精選別調製ライン

●比重選別機

比重と空気抵抗の差を利用した選別機で、特殊なスクリーンを貼ったデッキ（またはデック）とファン、デッキを振動させる振動モータで構成されている。送風機はダンパで風速が設定でき、整流格子を通してデッキ上に風が出る機構である。デッキ上の穀粒に浮遊速度に近い風速の風を当てると穀粒は流動層の状態となり、デッキ上で比重と空気抵抗の差により層状に分離する。層の中で重く充実した穀粒は層の下に沈み、未熟な軽い穀粒や形が小さな穀粒は層の上に浮き上がる。デッキを縦横に傾斜させ、凹凸のあるデッキを振動させると、層の下に沈んだ穀粒は傾斜の上方に移動し、層の上の穀粒は傾斜の下方へ移動する。積層した穀粒を振動により分離するにはデッキの大きさ、つまり選別距離と幅が重要である。比重選別機では軽い穀粒は屑口へ、重い穀粒、脱ぷ粒や、砕粒、石礫などは製品口へと移動し、選別される。

●インデントシリンダ型選別機

インデントシリンダ型選別機は、回転するシリンダの内面にくぼみ（インデント）があり、粒の長短によってくぼみへの収まり方が異なるため、くぼみの形状とシリンダの遠心力のつりあいから落下する位置に違いが生じることを利用する選別機である。くぼみの大きさや形により、小麦、米、ゴマ用などがある。選別程度の調整はシリンダの内側にあるキャッチトラフ（またはトローフ）と呼ぶ樋の選別エッジ（リーディングエッジまたはカッティン

グエッジ）の位置を変えることで調整する。選別したい短粒がシリンダの最上部まで持ち上げられるように回転数を調整すると精度や処理能力が最大となる。シリンダの周速度が速くなると粒が遠心力でインデントから離れなくなり、トラブルの原因になる。また、選別用シリンダ全長の90％ぐらいのインデントポケットに穀粒が入る状態で運転効率が高いため、供給過多にならないよう流量を調整する（図３－３）。

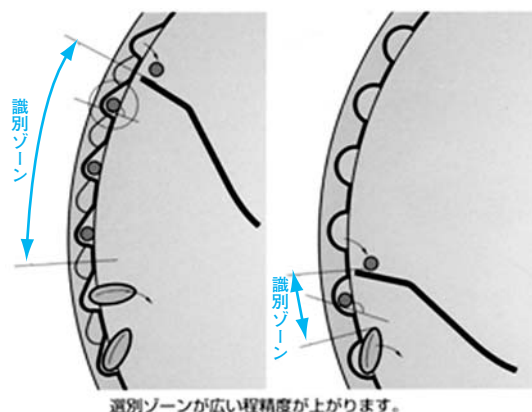



図３ー３　インデントシリンダセパレータ（HYDE 社）

3）籾摺り・調製

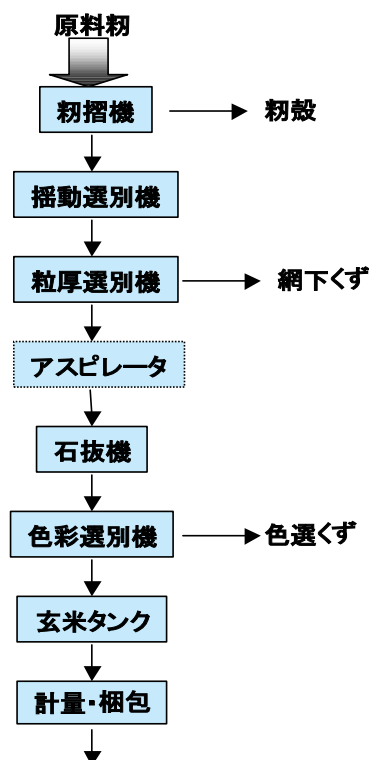
良質米生産の最終工程として、籾摺り、選別・調製作業は重要で、玄米を傷めず整粒歩合を高める調製を行うことが重要である。代表的な籾摺り、選別調製ラインを示した（図３－４）。

(1)　肌ずれ米

肌ずれ米は吸湿しやすく、カビの被害を受けやすいので貯蔵性が劣る。肌ずれ米は、その大部分が籾摺り機のゴムロールによる搗精時に発生する。同じ籾摺り機を使っても、籾の温度が高いと肌ずれ米発生率が高くなる（図３－５）。玄米水分を安定させるため、乾燥終了後５～７日間程度の調湿期間を置き、籾温度が低下してから籾摺りを行うことが望ましい。また、ライスグレーダによる選別時にはシリンダ篩の回転数が高すぎたり、傾斜が強すぎると肌ずれが発生することがあるので注意が必要である。

図３－４　籾摺り、選別・調整ライン

●籾摺り機

ゴムロール式籾すり機のほか、最近は衝撃式のインペラ式籾摺り機の使用も増えている。ゴムロール式は、小形から大形まで種々の処理能力の機種が製造されており、インペラ式は農家用の小形機が大半である。インペラ式は、脱ぷ率が高いこと、やや水分の高い籾にも使用できるなどの特長がある。ゴムロール式では、ロール間隙によって脱ぷ率が変化し、ロール間隙が狭いと脱ぷ率は良くなるが、玄米表面に傷が付く肌ずれ米が生じ、品質の劣化の原因となる。一方、ロール間隙が広いと脱ぷ率が悪くなり、処理能力が低下する。そこで、ロールの回転数と間隔、籾流量を調整し、脱ぷ率が80～90％になるように設定する。この調整方法は、異径ロール式

籾すり期機の場合、摩耗量を考慮しながら基準の間隙値より少しずつ広くするように、同径ロール式では、ロール間隙をやや狭めるようにし、主軸と副軸のロールを入れ替え、周速度差率の変化を少なくして肌ずれ米の発生を抑制するように行う。ゴムロールが片減りしているか、ゴムの厚さが新品の４分の１以下まで減っている場合は、直ちに新品と交換する。また、籾摺り機の振動が激しい場合も砕米が発生するので定期的に各部の締め付けを行う

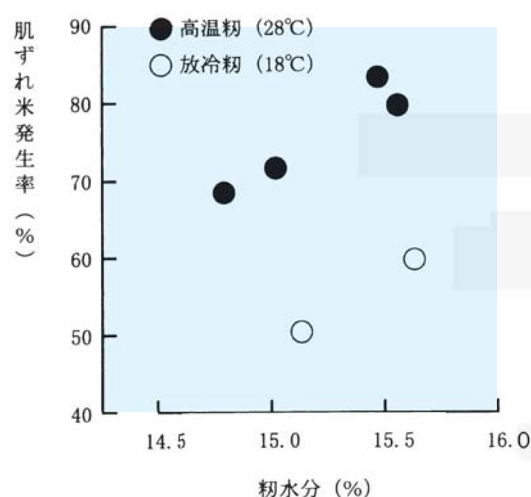



図３－５　籾温度と肌ずれ米発生率

⑵　**選別機**

米の充実度は玄米の粒厚と相関が高く、粒厚選別機によって粒厚の小さい未熟粒、死米などを除去して整粒割合を増加させ、玄米の品質を向上させる。

●粒厚選別機

従来使用されていた横形回転篩選別機にかわって、縦形回転篩選別機が急速に普及している。長所は、シリンダ全面で選別作用が行われるのでシリンダを短くでき、縦形であるため設置面積が小さく、狭い場所でも使用が可能であることが挙げられる。また、電子秤を利用して装置の上部に運ばれた穀粒を連続的に計量・袋詰め作業を行うことができる。回転篩選別機の場合は網目筒の回転数を上げすぎると、肌ずれが生じることがあるので、指定された回転数で使用することが大切である。

縦線米選機の場合は線間を米粒にあわせ、各線の間隔が一定にすることが大切である。傾斜は玄米の走り方を見て間隔を調整し、玄米の流量は有効幅一面に一粒ならびに流下する程度とする。

●色彩選別機

色彩選別機はシュートを流れる玄米に光を当て、着色粒（斑点粒）、未熟粒、被害粒、死米、砕粒や石、ガラス、プラスチック、金属片などの異物を選別する。個人利用では数チャンネルの色彩選別機が使用されているが、北海道のカントリーエレベータなどの選別調製施設では数百チャンネルの色彩選別機が使用されており、全ての玄米の選別に利用されている（図３－６、図３－７）。

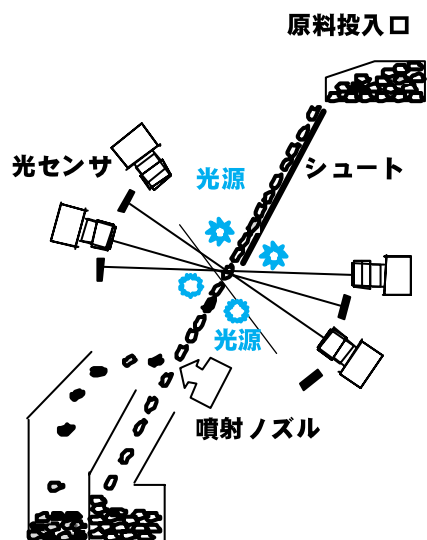



図３－６　色彩選別機の選別方法

図３－７　色彩選別機の外観

4）粒厚選別機と色彩選別機の組み合わせによる歩留・検査等級・整粒割合の向上

北海道の米の共同乾燥調製施設や農家では、籾摺り後の玄米の選別は、従来から粒厚選別が行われている。この粒厚選別では粒厚の小さい未熟粒や死米などを除き、整粒割合を増やし、玄米の品質を向上させる。

粒厚選別を行う際、網目サイズが1.90㎜の篩を使用していた。最近は、品質の良い米を生産するために、目幅を大きくする傾向にある。その結果、現在の標準的な篩の目幅は、「きらら397」では2.00㎜、「ほしのゆめ」では1.95㎜となっている。しかし、目幅を2.00㎜（または1.95㎜）と大きくしても、１等玄米を調製できない場合もあり、そのような時には、さらに大きな目幅で選別する例もある。近年は整粒割合を高くして１等玄米の出荷比率を高めるために、網目サイズを大きくする傾向にある。このように篩の目幅を大きくすると、歩留まりが低下し、網目下（選別くず）に整粒が除去され、生産者にとって損失が大きくなる。

北海道では米の乾燥調製貯蔵工程の合理化と高品質で均質な大ロットの北海道産銘柄米の確立を目的に、1996年以降、カントリーエレベータの建設が進米良れてきた。このような大型施設では、玄米から異物（小石等）や着色粒を除去するために、粒厚選別の後に色彩選別を行う。そこで、現在の粒厚選別の篩目幅を0.1㎜小さくし、「きらら397」では1.90㎜、「ほしのゆめ」では1.85㎜で選別した後、色彩選別機により未熟粒や着色粒などを取り除くことで製品玄米の品質や歩留向上の検討が行われている。高品質米（１等米）の調製と歩留の向上とを同時に実現

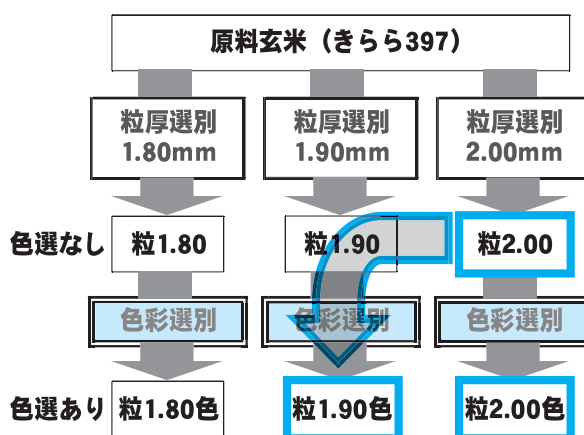



図３－８　粒厚選別と色彩選別を組み合わせた選別方法（北大・中央農試　2002）

するために、粒厚選別と色彩選別とを組み合わせた玄米選別技術である（図３－８）。

現行の粒厚選別の篩の目幅を0.1㎜小さくして、「きらら397」では1.90㎜、「ほしのゆめ」では1.85㎜で選別し、その後色彩選別機による選別を行った結果、歩留が４～11％増加、検査等級が向上し１等となった、整粒割合が0.1～３％増加、搗精歩留が0.2～0.3％増加、食味評価がわずかに向上するなどの良好な結果を得ている（表３－１、図３－９、図３－10）。

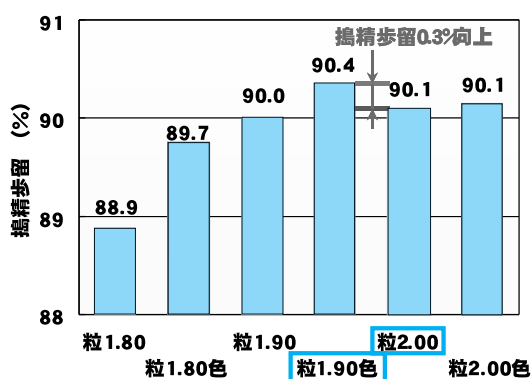



図３－９　搗精歩留（北大・中央農試　2002）

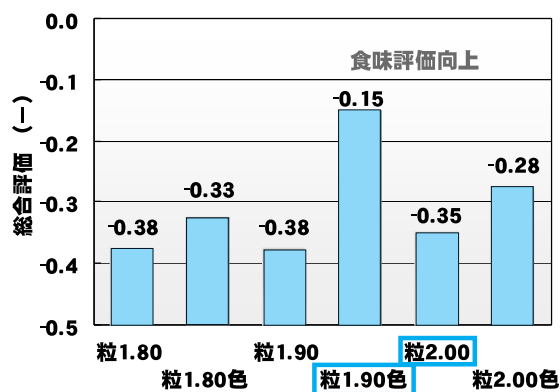



図３－10　食味試験の総合評価（北大・中央農試　2002）

表３－１　粒厚選別機と色彩選別の組み合わせによる歩留・検査等級、整粒割合の向上（北大・中央農試　2002）

試料	色彩選別の有無	歩留（％）			検査等級			整粒割合（％）		
		粒厚選別の篩の目幅			粒厚選別の篩の目幅			粒厚選別の篩の目幅		
		1.80㎜	1.90㎜	2.00㎜	1.80㎜	1.90㎜	2.00㎜	1.80㎜	1.90㎜	2.00㎜
2001年北村産 きらら397	色選なし	97.3	94.1	84.0	等外	等外	3(中)	73.4	74.9	78.4
	色選あり	88.2	88.2	81.5	1(下)	2(上)	2(上)	80.6	80.8	79.3
2002年北村産 きらら397	色選なし	98.5	95.9	84.5	3(上)	2(下)	2(中)	70.6	72.3	75.8
	色選あり	89.6	89.5	81.9	1(下)	1(下)	1(下)	75.5	75.9	75.9
2002年長沼産 きらら397	色選なし	98.1	92.5	72.3	等外	等外	3(下)	74.0	76.4	81.8
	色選あり	84.9	83.6	67.3	1(中)	1(中)	1(中)	85.6	84.6	85.3
		1.75㎜	1.85㎜	1.95㎜	1.75㎜	1.85㎜	1.95㎜	1.75㎜	1.85㎜	1.95㎜
2001年美唄産 ほしのゆめ	色選なし	97.5	94.1	79.7	3(下)	3(中)	2(中)	68.7	69.8	75.2
	色選あり	85.9	85.6	76.9	1(下)	1(下)	1(下)	77.5	78.1	77.0

4 稲わら収集

ほ場における稲わらの適正処理が推奨されている。コンバインから排出されたわらをレーキで集め、ベーラで梱包してから搬出する。ほ場でわらの乾燥を促進するには、テッダで反転することもある。わらの乾燥が進んでいれば、牧草収穫と同じ大型のけん引式ロールベーラが使用できるが、水田は軟弱なことが多く、車輪によって圃場を傷める危険性が高いため、クローラ式の自走式ロールベーラや小型の直装式やけん引式ロールベーラが使用されることが多い。長わら、切断わらのどちらでも梱包でき、収集率は長わらで90～98％、切断わらは50～97％、作業能率は毎時0.1～0.3ha、負担面積は年10～30ha程度である（表４－１）。

収集したわらは、堆肥化して圃場還元されるほか、家畜の敷料や一部飼料に利用される。バイオエタノール製造試験も行われている。堆肥化の場合は、土砂混入は支障とならず、乾燥も必要ないが、敷料や飼料として利用する場合はわら水分が低いこと、カビの発生がないこと、土砂混入が少ないことが求められる。土砂混入を避けるには、自脱コンバインでわらを切断せず、ノッタ・ドロッパで結束するのが望ましい。

表４－１　稲わら収集機と作業能率

	馬力（ＰＳ）	わらの状態	回収率（％）	ベールの大きさ 直径（m）×幅（m）	作業能率（ha/ｈ）
自脱コンバイン	32	長わら	100	－	収穫と同時
自走式ロールベーラ	40	長わら	90～97	1.2×1.2	0.34
		切断わら	50～69		
自走式ロールベーラ	6	長わら	－	0.5×0.63	0.13
		切断わら	－		
直装式ロールベーラ	トラクタ 18～30	長わら	96～98	0.5×0.7	0.35
		切断わら	97		